

УДК 504.4.06(1/9)

М.И. ПЕТРОВА, Б.П. ВЛАСОВ

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ОЗЕРА ОТ ЛОКАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ

This article is dedicated to a problem of an estimation of an anthropogenic influence on lakes. The methods of the integral estimation of a man-caused impact on lakes from point sources has been worked up, approved and produced.

Озера, являясь водоемами замедленного водообмена, характеризуются повышенной чувствительностью к техногенным нагрузкам и представляют собой один из наиболее уязвимых элементов ландшафта. Это обусловлено их главной особенностью – способностью аккумулировать вещество, которое циркулирует в пределах водосбора, переносится стоком и достигает водоема [1].

В условиях рационального природопользования и ресурсосбережения значительное внимание уделяется вопросам регулирования антропогенного эвтрофирования и загрязнения поверхностных вод с целью сохранения их качества. К числу антропогенных факторов, которые оказывают наибольшее воздействие на гидрохимический режим озер, относятся: осушительная мелиорация, сельское хозяйство, урбанизация, промышленное производство и рекреация [2]. Однако одна из главнейших причин деградации водоемов, по мнению лимнологов [1, 3], – это сброс недостаточно очищенных сточных вод. В Беларуси озера-водоприемники сточных вод также принадлежат к наиболее хемотрансформированным водоемам [2, 4].

Основной целью данной работы является интегральная оценка техногенной нагрузки на озерные экосистемы от локальных источников. Для этого необходимо:

- оценить общую нагрузку бытовыми сточными водами;
- разработать методику интегральной оценки техногенного воздействия, позволяющую ранжировать источники загрязнения в рамках административных или природных образований, выделять приоритетные загрязняющие вещества в составе сбрасываемых сточных вод, учитывая при этом фоновый состав озерных вод и морфометрические параметры водоемов;
- апробировать разработанную методику на озерах-водоприемниках сточных вод.

Материал и методика

В качестве объектов исследования выбраны озера, расположенные в пределах Белорусского Поозерья и испытывающие интенсивное антропогенное воздействие в результате сброса сточных вод: Болойсо (Браславский), Большое Ореховское (Оршанский), Кагальное (Глубокский), Лядно (Лепельский), Миорское (Миорский), Россоно (Россонский), Сенно (Сенненский) районы. При расчетах использовались средние значения концентраций химических веществ и соединений в сбрасываемых сточных водах, а также усредненные объемы их сбросов за 2001–2006 гг.

Нагрузка сточными водами L – это отношение объемов сточных вод, сбрасываемых в озеро в течение года, и самого водоема, %:

$$L = (v/V)100 \%,$$

где v – объем сбрасываемых сточных вод, тыс. м³; V – объем озера, тыс. м³.

Удельная масса загрязняющего вещества s_i представляет собой единицу массы поллютанта, поступающего в единицу объема озера в течение года:

$$s_i = m_i/V,$$

где m_i – масса i -го загрязняющего вещества, кг/год.

В качестве интегральной оценки техногенного воздействия возможно использование «техногенного спектра» – последовательности техногенных чисел для каждого техногенного потока [5]:

$$t_i = M_{Ti}I_i,$$

где t_i – техногенное число; $I_i=1/C_{Li}$ – безразмерный техногенный индекс для i -го вещества, характеризующий его токсичность в сравнении с условным (единичным или базовым) веществом, предельно допустимая концентрация которого равна единице; C_{Li} – предельно допустимая концентрация i -го вещества в тех же единицах; M_{Ti} – масса i -го вредного вещества.

При расчете техногенной нагрузки важно учитывать природные особенности исследуемых озер. Представим безразмерный техногенный индекс для i -го вещества как $1/C_{фон}$, где $C_{фон}$ – условная фоновая концентрация i -го вещества в озерной воде. Так как сброс сточных вод осуществляется в разные по объему водоемы, то логично вместо M_{Ti} использовать удельную массу загрязняющего вещества s_i .

Тогда техногенное число можно представить следующим образом:

$$t_i = s_i \cdot I_i.$$

Из сравнения сумм техногенных чисел для нескольких озер последовательно по каждому из контролируемых показателей можно определить в составе сбрасываемых стоков вещество, оказывающее наибольшее воздействие на воды озера:

$$P_j = \sum_{i=1}^l t_i,$$

где P_j – сумма техногенных чисел, $j = 1, 2 \dots l$ – исследуемые водоемы; $i = 1, 2 \dots k$ – загрязняющие вещества в сточных водах.

Обобщенное техногенное число T можно записать:

$$T = \sum_{i=1}^k t_i.$$

Сравнение обобщенных техногенных чисел, рассчитанных для источников загрязнения каждого исследуемого водоема, позволяет ранжировать их по уровню нагрузки от локальных источников загрязнения.

Результаты и их обсуждение

В соответствии с «Природно-хозяйственной классификацией озер Беларуси» [6] по объему водной массы одно из исследуемых озер является крупным, два – средними, три – малыми и одно – очень малым. Необходимо отметить, что увеличение объема сбрасываемых сточных вод не пропорционально изменению объема водоемов, что отражается в особенностях нагрузки сточными водами на озера (табл. 1).

Таблица 1

Особенности нагрузки сточными водами на исследуемые озера

Озеро	Объем, тыс. м ³	Объем сбрасываемых сточных вод, тыс. м ³ /год	Нагрузка сточными водами, %
<i>Крупные озера (объем водной массы более 20000 тыс. м³)</i>			
Сенно	26830	570,8	2,1
<i>Средние озера (объем водной массы 5010 – 10000 тыс. м³)</i>			
Болойсо	7290	456,3	6,3
Миорское	5240	67,3	1,3
<i>Малые озера (объем водной массы 1010 – 5000 тыс. м³)</i>			
Б. Ореховское	4340	418,2	9,6
Лядно	4350	434,3	10,0
Россоно	4930	256,9	5,2
<i>Очень малые озера (объем водной массы менее 1000 тыс. м³)</i>			
Кагальное	440	66,5	15,1

Проведенные расчеты показали, что наибольшую нагрузку сбрасываемыми сточными водами испытывают преимущественно малые и очень малые озера, ее величина может достигать 15 % от объема водоема. Наименьшая нагрузка сточными водами характерна для средних (за исключением озера Болойсо) и крупных озер.

Необходимо отметить, что объемы сбрасываемых в озеро сточных вод не дают достаточно полного представления об интенсивности нагрузок, поскольку не учитывают уровень загрязненности стоков. Поэтому для интегральной оценки техногенной нагрузки на озера от локальных источников применялась разработанная авторами методика. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2

«Техногенные спектры» воздействия сточных вод на озера

Показатель	Озеро							Сумма техногенных чисел
	Болойсо	Б. Ореховское	Кагальное	Лядно	Миорское	Россоно	Сенно	
БПК ₅	0,74	0,18	1,62	1,05	0,03	0,32	0,09	4,02
Сульфаты	0,36	0,22	1,53	0,59	0,06	0,12	0,07	2,95
Хлориды	0,78	1,76	1,72	2,46	0,04	0,35	0,19	7,28
Фосфор фосфатный	2,99	6,94	10,95	14,14	0,10	3,24	1,63	40,00
Азот аммонийный	3,14	1,95	2,19	6,33	0,03	1,93	0,37	15,94
Азот нитритный	5,13	2,17	2,58	21,07	0,06	0,62	0,56	32,16
Азот нитратный	0,39	0,48	3,32	1,37	0,01	0,02	0,31	5,92
Нефтепродукты	0,12	0,09	0,37	0,26	0,01	0,11	0,02	0,99
СПАВ	0,38	0,17	0,16	0,35	0,01	0,09	0,03	1,20
Железо общее	0,01	0,11	0,22	0,45	0,03	0,11	0,02	0,96
Обобщенное техногенное число	14,04	14,06	24,66	48,08	0,37	6,91	3,29	–

Из таблицы видно, что чрезвычайно высокая техногенная нагрузка в результате сброса сточных вод характерна для озера Лядно, что связано со значительной концентрацией загрязняющих веществ в стоках и большими объемами сбросов. Наибольшую нагрузку этот водоем испытывает в связи с наличием в составе сбрасываемых сточных вод азота нитритного, фосфатного фосфора, в меньшей степени – азота аммонийного и хлоридов. Вторым по степени нагрузки, связанной с локальным источником, является озеро Кагальное. Интенсивность воздействия в этом случае определяется малым объемом водоема и высокой загрязненностью сбрасываемых сточных вод. Наибольшую нагрузку на озеро оказывают биогенные элементы: фосфатный фосфор, а также различные соединения азота. Озера Большое Ореховское и Болойсо в соответствии с обобщенными техногенными числами испытывают третью по величине техногенную нагрузку от локального источника загрязнения. В первом случае высокая нагрузка обусловлена большим объемом сбросов в малое озеро, а во втором – сильной загрязненностью стоков. Основную нагрузку оказывают фосфатный фосфор, соединения азота (нитритного и аммонийного) и хлориды. Озеро Россоно занимает пятое место по степени нагрузки от локальных источников. Интенсивность антропогенного влияния в данном случае обусловлена малым объемом водоема и достаточно высокой степенью загрязненности сточных вод. Основная нагрузка связана с поступлением в озеро фосфатного фосфора и азота аммонийного. Нагрузка на озеро Сенно ввиду большого объема водной массы ниже, чем на большинство исследуемых водных объектов. Основу нагрузки составляют находящиеся в составе сточных вод фосфатный фосфор, соединения азота, хлориды. Сточные воды, сбрасываемые в озеро Миорское, оказывают незначительное воздействие на водоем. Это связано с небольшими объемами стоков, основная масса которых использовалась лишь для охлаждения оборудования. Нагрузка включает биогенные элементы (азот нитритный и фосфаты), а также сульфаты в составе сточных вод.

Рассчитанная сумма техногенных чисел, как видно из табл. 2, показывает, что наибольшее воздействие на водоем оказывает поступающий в составе сточных вод фосфатный фосфор. Нагрузка фосфатами составляет 20÷50 % от всей учитываемой техногенной нагрузки. Их содержание в сточных водах многократно превышает средние фоновые величины для вод исследуемых озер, что обуславливает интенсивное антропогенное эвтрофирование

водоемов, в которые сбрасываются сточные воды. Значительную роль в эвтрофировании водоемов играют и некоторые соединения азота. Нагрузка на экосистемы озер азотом нитритным, находящимся в сбрасываемых сточных водах, составляет около 30 % всей нагрузки и варьирует в широком диапазоне значений от 10 до 50 %. Средняя доля азота аммонийного в суммарной нагрузке приближается к 14 %, достигая в отдельных случаях 30 %. Эти три биогенных элемента в среднем составляют около 80 % всей рассматриваемой техногенной нагрузки. Для других биогенных элементов она невысокая и равняется в среднем для азота нитратного 5 %, для железа общего – менее 1 %. Значения обобщенных техногенных чисел для макрокомпонентов в среднем ниже, чем для биогенных элементов, однако достаточно существенны. Доля хлоридов в суммарной нагрузке составляет более 6 % (в отдельных случаях – 13 %), а для сульфатов – 3 и 16 % соответственно. Средняя нагрузка на водоем по показателю БПК₅ приближается к 4 %, достигая для отдельных водоемов 7 %. Среди рассматриваемых искусственных соединений наибольшая нагрузка связана с содержанием в сбрасываемых сточных водах СПАВ. Ее значения в среднем составляют около 1 %, достигая 3 %. Нагрузка нефтепродуктами не превышает 1 %.

* * *

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Максимальную нагрузку сточными водами испытывают малые и очень малые водоемы, минимальные нагрузки характерны для средних (за исключением озера Болойсо) и крупных озер.

2. Предложенная авторами методика оценки техногенного воздействия позволяет ранжировать источники загрязнения в рамках административных (город, район, область) или природных (водосборный бассейн) образований, выделять приоритетные загрязняющие вещества в составе сбрасываемых сточных вод, учитывая при этом их фоновый состав вод и морфометрические параметры водоемов.

3. Обобщенные техногенные числа свидетельствуют о том, что особо сильное техногенное воздействие, связанное с локальными источниками загрязнения, характерно для озер Лядно и Кагальное, сильное – для озер Большое Ореховское, Болойсо, Россоно, Сенно, умеренное – для озера Миорское.

4. В соответствии с рассчитанными суммами техногенных чисел основное воздействие на озера-водоприемники сточных вод, приводящее к антропогенному эвтрофированию, оказывают содержащиеся в них биогенные элементы: фосфаты, а также азот нитритный и аммонийный. Существенная нагрузка связана с содержанием в сточных водах хлоридов и азота в нитратной форме, менее значимая обусловлена наличием органических веществ, СПАВ и сульфатов. Поступление нефтепродуктов и железа общего в составе сбрасываемых сточных вод незначительно.

1. Россолимо Л.Л. Изменение лимнических экосистем под воздействием антропогенного фактора. М., 1977.

2. Власов Б.П. Антропогенная трансформация озер Беларуси: геоэкологическое состояние, изменение, прогноз. Мн., 2004.

3. Хендерсон-Селес Б. Умирающие озера / Б. Хендерсон-Селес, Ч.М. Маркленд. Л., 1990.

4. Петрова М.И. Оценка современного гидрохимического состояния озер-приемников сточных вод, расположенных в пределах Белорусского Поозерья // Природные ресурсы. 2007. № 2. С. 12.

5. Информационные технологии экологической безопасности [Электронный ресурс] / Санкт-Петербургский государственный университет. 2006. Режим доступа: <http://www.geo.ru.ru>. Дата доступа: 26.01.2007.

6. Природно-хозяйственная классификация озер Беларуси. Рекомендации по хозяйственному использованию озер / Под общ. ред. О.Ф. Якушко. Мн., 1995.

Поступила в редакцию 15.09.08.

Марина Игоревна Петрова – научный сотрудник РУП «ЦНИИКИВР».

Борис Петрович Власов – доктор географических наук, заведующий НИЛ озераведения.