

УДК 556.55 (476)

Д. Л. Занкевич,
соискатель аспирантуры факультета географии и геоинформатики БГУ,
кафедры общего землеведения и гидрометеорологии
Б. П. Власов,
главный научный сотрудник НИЛ озераведения БГУ,
доктор географических наук

АНАЛИЗ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ВОДОХРАНИЛИЩЕ ЛОШАНСКОЕ

Аннотация. В работе приведены результаты геоэкологической оценки антропогенной нагрузки на водохранилище Лошанское. Определены ключевые точечные и рассеянные источники поступления питательных веществ в водохранилище. Рассчитаны суммарные показатели поступления фосфора и азота как ключевых питательных веществ, определяющих природу антропогенного эвтрофирования водоёма.

Ключевые слова: водохранилище, антропогенное воздействие, эвтрофирование, критическая нагрузка.

Abstract. The article presents the results of a geoecological assessment of the anthropogenic load on the Loshanskoye reservoir. The key point and scattered sources of nutrient supply to the reservoir have been identified. Total indicators of phosphorus and nitrogen inflow were calculated as key nutrients that determine the nature of anthropogenic eutrophication of the reservoir.

Keywords: reservoir, anthropogenic impact, eutrophication, critical load.

Введение. Ключевые виды антропогенного воздействия на водоёмы на современном уровне развития общества — антропогенное эвтрофирование, изменение гидрологического режима, изменение и загрязнение видового состава и естественной продуктивности аборигенной фауны и флоры [1; 3].

Материалы и методика. Водоохранилище Лошанское расположено в Узденском районе на территории Слободского сельсовета. Данное русловое водохранилище создано на реке Лоша (бассейн Нёмана) в противопожарных целях [2; 17].

Наиболее значительные изменения гидрологического режима водохранилища вызвали гидромелиоративные работы в пределах водосбора, которые проходили в несколько этапов и привели к снижению объёма стока, уменьшению скорости водообмена, падению уровня воды, сокращению зеркала озера и уменьшению объёма водной массы.

Поступление загрязняющих веществ с поверхностными водами и атмосфер-



Рисунок 1 — Водоохранилище Лошанское

ными осадками — основной источник загрязнения воды. В результате загряз-

нения в водной массе, донных отложениях и гидробионтах фиксируется накопление солей тяжёлых металлов, соединений серы. Подобные процессы хотя и не становятся причиной глобальной перестройки экосистемы водохранилища, однако могут привести к нарушениям в химическом составе водной среды, вызвать ухудшение её качества [6; 15].

Наиболее интенсивно процесс антропогенного эвтрофирования проявился в 70–80-е гг. XX в. Искусственное обогащение водохранилища питательными веществами антропогенного происхождения стало ключевой причиной нарушения продукционно-деструкционных процессов в его экосистеме и повышения уровня первичной продукции органического вещества. Нарушение биологического сообщества вызвало изменение соотношений в пищевой цепи, сокращение видового разнообразия, чрезмерное развитие одних видов за счёт угнетения других. Антропогенное эвтрофирование привело к резкому ухудшению качества воды в 1980-е гг., особенно резко прояв-

ляющемуся на фоне сокращения проточности [7; 11; 19].

Основной причиной антропогенного эвтрофирования и, как следствие, ухудшения качества воды стало увеличение содержания питательных веществ в воде в результате усиления хозяйственной деятельности в пределах водосборного бассейна. Происходит интенсивное развитие водорослей и «цветение» воды, скачкообразное изменение условий жизни организмов, кормовой базы рыб, быстрое заиливание водоёмов. В зимние периоды наблюдается отсутствие растворённого кислорода в придонном слое воды, которое приводит к заморным явлениям. Основными питательными веществами являются соединения фосфора и азота; это положение принято как у нас в стране, так и за рубежом и отражено в научно-академической литературе о проблемах антропогенного эвтрофирования [15; 16; 20]. Взаимосвязь между процессом эвтрофирования поверхностных вод и обогащением их фосфором и азотом можно проследить в таблице 1.

Таблица 1 — Анализ суммарных уравнений и частных реакций фотосинтеза [7; 19; 20]

Схема балансового уравнения фотосинтеза	$106\text{CO}_2 + 90\text{H}_2\text{O} + 16\text{NO}_3^- + \text{PO}_4^{3-} + Q_{\text{солн.}} =$ $= \text{C}_{106} + \text{H}_{180}\text{O}_{46}\text{N}_{16}\text{P} + 154\text{O}_2 + Q$
Процесс фотолиза воды	$12\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{энергия света}} 6\text{O}_2 + 24\text{H}^+ + 24\text{e}^-$
Процесс образования восстановителя	$12\text{НАДФ}^+ + 24\text{H}^+ + 24\text{e}^- \xrightarrow{\text{энергия света}} 12\text{НАДФ} \cdot \text{H}_2$
Фотофосфорилирование	$18\text{АДФ} + 18\text{Ф} \xrightarrow{\text{энергия света}} 18\text{АТФ} + 18\text{Ф}$
Темновые реакции фотосинтеза	$6\text{CO}_2 + 12\text{НАДФ} \cdot \text{H}_2 + 18\text{АТФ} \rightarrow$ $\rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 12\text{НАДФ}^+ + 18\text{АДФ} + 18\text{Ф} + 6\text{H}_2\text{O}$
Световые реакции фотосинтеза	$12\text{H}_2\text{O} + \text{НАДФ}^+ + 18\text{АДФ} + 18\text{Ф} \xrightarrow{\text{энергия света}}$ $\rightarrow 6\text{O}_2 + 12\text{НАДФ} \cdot \text{H}_2 + 18\text{АТФ}$

Избыточный приток питательных веществ — биогенная нагрузка на водоём — зависит от населённости и хозяйственной освоенности водосбора. Наиболее значительные изменения вещественного состава поверхностных вод вызывают коммунальные, бытовые стоки селитебных территорий. Именно поступление соединений биогенных элементов со сточными водами поселений вызывает стремительное эвтрофирование

водоёмов. Наиболее активным источником загрязняющих веществ стало сельскохозяйственное производство.

Обогащение водоёмов биогенными элементами происходит как из точечных (промышленные и сельскохозяйственные объекты на берегах водоёмов), так и из рассеянных источников (сельскохозяйственные угодья, места выпаса и водопоя скота, огороды, места отдыха на берегах водоёмов). Источниками био-

генных веществ в земледелии являются удобрения и остатки культур после уборки урожая. В животноводстве такими источниками служат продукты обмена веществ домашних животных.

Пути поступления эвтрофирующих и загрязняющих веществ в водоёмы могут быть различными, их можно разделить на две группы: 1) сосредоточенные сбросы по элементам гидросети; 2) рассеянные сбросы в составе различных видов стока (почвенные, грунтовые воды, плоскостной смыв и т. д.). Вещества могут поступать как в растворённой форме, так и в виде взвешенных частиц [4].

Для оценки антропогенного воздействия и степени трансформации водоёма использован метод расчёта поступления питательных веществ (соединений азота и фосфора) в водоём [15; 16].

Учитывая, что промышленные и сельскохозяйственные предприятия, имеющие локализованные и рассеянные сбросы отходов производства, а также сельскохозяйственные угодья в пределах водосбора водохранилища Лошанское отсутствуют (молочно-товарная ферма филиала ЗАО «АСБ-Агро Кухтичи» на северной окраине аг. Лоша закрыта в 2001 г.), расчёт поступления в водоём соединений азота и фосфора с поверхностным и грунтовым стоком не производился.

Основными источниками поступления биогенных веществ в водохранилище Лоша стали: территория и жители посёлка Костюки, деревень Кривели, Сеножатки, Боровые и агрогородка Лоша, отходы животных и птиц частного сектора, объекты рекреации и рекреанты. Всего

в границах рассматриваемого водосбора проживает 314 человек. Из них 217 — в благоустроенных домах с водопроводом и канализацией, в частном секторе без водопровода и канализации на протяжении тёплого времени года (150 дней) проживает 97 человек. Очистные сооружения и выгребы на подворьях в частном секторе отсутствуют, отходы без очистки поступают в грунт. В таких условиях водопользования и утилизации отходов (98 %) годовое суммарное поступление составляет менее 0,5 кг аммонийного азота и 0,1 кг фосфатного фосфора.

Хозяйственно-бытовые стоки являются одним из рассеянных источников загрязнения водохранилища Лошанское и негативным фактором формирования качества воды. Считается, что объём воды, используемый для хозяйственно-бытовых нужд населения, поступает в выгребы, удаляется за пределы водосбора и не оказывает влияния на водоём.

По данным статистической отчётности, в пределах водосбора водохранилища фермы отсутствуют. Общее поголовье крупного рогатого скота на личных подворьях составляет 17 голов (из них 8 — коровы, 4 — нетели, 5 — молодняк КРС). Также имеется 26 свиней, 5 коз, 74 головы домашней птицы, 11 кроликов. Учитывая малочисленность поголовья в условиях отсутствия необходимых водоохраных сооружений только 10 % загрязняющих веществ попадает в водохранилище, расчёт поступления азота и фосфора из отходов животных, находящихся в подсобных хозяйствах граждан, даёт следующие результаты (таблицы 2–4):

Таблица 2 — Суточный выход отходов от животноводства в расчёте на одну голову

Вид животных	Выход отходов, кг/сутки	Поголовье	Выход отходов за год, кг/год
Коровы	50,0	8	146 000
Нетели	27,5	4	40 150
Молодняк КРС	14,6	5	26 645
Свиньи	5,6	26	53 144
Овцы, козы	2,8	5	5 110
Кролики	0,2	11	803
Птица	0,107	74	2890

Таблица 3 — Состав свежего навоза, %

Составные части навоза	Вид животных						
	Коровы	Нетели	Молодняк КРС	Свиньи	Овцы, козы	Кролики	Птица
Азот (N) общий	0,75	0,5	0,21	0,45	0,83	1,12	5,0
Фосфор (P ₂ O ₅)	0,6	0,42	0,11	0,19	0,23	1,85	4,2

Таблица 4 — Поступление азота и фосфора в Лошанское водохранилище с поверхностным стоком от животноводства

Вид животных	Поголовье	Выход отходов за год, кг/год	Содержание в навозе, кг/год		Поступление в озеро, кг/год		
		всего	азот	фосфор	азот	фосфор	
1	2	3	4	5	6	7	
КРС	Коровы	8	146000	1095	876	109,5	8,6
	Нетели	4	40150	200,8	168,6	20,1	16,9
	Молодняк КРС	5	26645	55,95	29,3	5,6	2,93
Свиньи	26	53144	239,2	101,0	23,92	10,1	
Овцы, козы	5	5110	42,41	11,75	4,24	1,18	
Кролики	11	803	9,0	14,86	0,9	1,49	
Птица	51	2890	144,5	121,38	14,45	12,14	
Всего					178,71	53,34	

Основными путями поступления загрязняющих веществ в водохранилище Лошанское являются поверхностные водотоки. Роль склонового стока вследствие низинного рельефа и широкого развития заболоченной и задернованной поймы незначительна [8; 9; 13]. Основной приток воды в водохранилище осуществляется по шести мелиоративным канавам, впадающим в водохранилище с мелиорированной территории площадью 15,72 км² на востоке и юго-востоке. Усреднённые химические показатели состава вод мелиоративных канав приведены в таблице 5.

Таблица 5 — Количество химических веществ, поступающих в Лошанское водохранилище с водами впадающих мелиоративных канав

Показатели	Усреднённые концентрации	Суммарное поступление, кг/год
NH ₄ , мг/дм ³	0,48	125,7
NO ₂ , мг/дм ³	0,004	1,1
NO ₃ , мг/дм ³	0,55	144,1
PO ₄ , мг/дм ³	0,01	2,6

Роль атмосферных осадков как фактора воздействия на экосистемы водохранилищ проявляется в поступлении биогенных загрязняющих веществ и сернистых соединений, попадающих в воздушный бассейн с выбросами промышленных предприятий, и приводит к загрязнению вод тяжёлыми металлами и образованию так называемых «кислотных дождей» [14; 15].

По литературным данным, в зависимости от количества выпавших атмосферных осадков в водохранилище попадает, в пересчёте на гектар акватории водоёма, от 5,9 до 9,4 (при среднем значении 7,27) кг/га минерального азота и от 0,1 до 1,12 (при средней величине 0,12) кг/га минерального фосфора [4; 13]. Результаты расчёта суммарного поступления данных элементов в водохранилище представлены в таблице 6.

Одним из основных источников загрязнения вод водохранилища служит рекреационная деятельность. Рекреационные объекты, расположенные в живописных местах на берегах водоёма, привлекают к себе массу отдыхающих и туристов, что неизбежно ведёт к нарушению

Для определения фактической фосфорной нагрузки необходимо учесть все источники и количество поступления фосфора в водохранилище (таблица 8).

Таблица 8 — Суммарное поступление азота и фосфора с водосбора Лошанского водохранилища

Источники поступления	Количество			
	азот		фосфор	
	кг/год	%	кг/год	%
Жизнедеятельность населения	0,5	0,016	0,1	0,005
Поверхностный сток с мелиорированных территорий	270,9	8,5	2,6	1,3
Животноводство	178,71	5,6	53,34	27,1
Атмосферные осадки	2448,0	76,7	68,0	34,5
Рекреация	292,3	9,2	73,0	37,1
Всего:	3190,41	100	197,04	100

Результаты и их обсуждение. В соответствии с таблицей 8 всего с 90,0 км² площади водосбора в средний по водности год поступает 3190,41 кг азота и 194,04 кг фосфора. Таким образом, фактическое поступление фосфора в водохранилище рассчитано как сумма пяти составляющих: поверхностный сток с мелиорированных территорий водосбора (1,3 %), поступление от населения (0,005 %), поступление от животноводства (27,1 %), атмосферные осадки, выпадающие на акваторию (34,5 %), и рекреация (37,1 %). Следовательно, **фактическая (реальная) фосфорная нагрузка** в пересчёте на 1 м² акватории водохранилища Лоша составляет 0,056 г/м².

В соответствии с современными теоретическими представлениями гидрологии экосистема каждого водоёма обладает определённой устойчивостью по отношению к внешним воздействиям и, в частности, по отношению к фосфорной нагрузке — показателю, интегрально отражающему степень антропогенного воздействия. Эта устойчивость в первую очередь определяется двумя параметрами: скоростью водообмена и средней глубиной. В настоящее время разработаны модели бюджета фосфора — основного элемента, значимого для контроля процесса развития эвтрофирования. В существующей модели бюджет

фосфора анализируется как функция и его прихода, и потерь, которые связаны со стоком из водоёма и седиментацией его в водоёме. В соответствии с моделью Р. Фоленвайдера [19; 20] **допустимая нагрузка**, при которой озеро сохраняет свой статус ($L_{доп}$, гР/м²), может быть рассчитана по уравнению:

$$L_{доп} = 0,015z \cdot \frac{1 + \sqrt{t_n}}{t_n}, \text{ где}$$

z — средняя глубина, м,
 t_n — время водообмена, год,
или

$$L_{доп} = 0,015 \cdot 1,6 \cdot 1,75 / 0,57 = 0,07.$$

Таким образом, **допустимая фосфорная нагрузка** на водохранилище Лошанское составляет 0,07 гР/м², а **критическая фосфорная нагрузка**, в два раза превышающая допустимую, составляет 0,14 гР/м².

Заключение. Подводя итоги проведённого исследования, можно сделать следующие выводы:

1. Одним из ключевых показателей степени эвтрофирования водной среды исследуемых водоёмов, наряду с природными факторами, характеризующими их водосбор, является устойчивость самого водоёма к величине поступления и содержания в водной среде лимитирующего элемента — фосфора.

2. Оценить степень антропогенного воздействия по отношению к той или иной экосистеме, обладающей различной устойчивостью или способностью выдерживать нагрузку, не изменяя своего трофического статуса, можно, сопоставляя фактическую фосфорную нагрузку с критической. Сравнение расчётных величин свидетельствует о том, что реальная фосфорная нагрузка на водохранилище Лошанское в 1,25 раза меньше допустимой нагрузки и в 2,5 раза меньше критической, что свидетельствует о недостаточно устойчивом состоянии экосистемы данного водохранилища.

3. Ключевыми составляющими, которые определяют фактическое поступление фосфора в водохранилище, наряду с атмосферными осадками, являются рекреация и животноводство.

4. Для стабилизации состояния экосистемы водохранилища Лошанское рекомендуется:

- оздоровительное купание и принятие солнечных и воздушных ванн в строго отведённых для этих целей местах, с устройством пляжей, благоустроенных и оборудованных мусоросборниками и туалетами, малыми архитектурными формами подходов к воде (из естественных материалов);

- организация туристских стоянок для кратковременного отдыха, частично оборудованных кострищами, без разрешения ночёвок и разбивки палаток;

- организация регулируемого любительского рыболовства в строго отведённых местах с оборудованием мостиков либо с лодок;

- организация самодеятельного регулируемого экотуризма с использованием намеченных экотроп, оборудованных мусоросборниками, туалетами, малыми архитектурными формами, кострищами;

- упорядочение дорожной и тропичной сети;

- ограничение проезда транспорта к берегу водохранилища при помощи установки запрещающих знаков, шлагбаумов; закрытие лесных дорог;

- создание дополнительных охраняемых автостоянок за пределами зоны отдыха;

- постоянная контролируемая санитарная очистка территории от мусора, бурелома, засохших деревьев;

- проведение исследований по оценке механизмов попадания в водохранилище навозосодержащих сточных вод, которые образуются при растаскивании навоза по территории водосбора и размывании ливневыми водами, и разработка мероприятий по оптимизации животноводческого производства в границах водосбора водоёма с учётом выноса биогенных веществ;

- разработка и размещение наглядной природоохранной агитации: создание информационных плакатов и стендов, обращений к туристам.

Список использованных источников

1. *Алекин, О. А.* Основы гидрохимии / О. А. Алекин. — Л. : Гидрометеиздат, 1970. — 444 с.
2. *Блакiтны скарб Беларусi: рэкі, азёры, вадасховiшчы, турысцкі патэнцыял водных аб'ектаў.* — Мiнск : Беларуская энцыклапедыя, 2007. — 480 с.
3. *Власов, Б. П.* Антропогенная трансформация озёр Беларуси: геоэкологическое состояние, изменение, прогноз / Б. П. Власов. — Минск : БГУ, 2004. — 207 с.
4. *Воронов П. П.* Поступление азота в почву с атмосферными осадками в различных зонах Европейской части СССР / П. П. Воронов. // Тр. Гос. гидрол. ин-та. — Л., 1963. — Вып. 102. — 160 с.
5. *Химический состав атмосферных осадков на Европейской территории СССР / В. М. Дроздова [и др.].* — Л. : Гидрометеиздат, 1964. — 209 с.
6. *Изменение гидрографической сети Белоруссии под воздействием мелиоративных работ / под. ред. С. Ф. Бычука.* — Минск : Ураджай, 1986. — 320 с.
7. *Комплексное обследование, оценка и расчёт параметров оптимальной рекреационной нагрузки и разработка предложений по снижению негативного антропогенного воздействия*

на озеро Завишанское (Ивановский район, Брестской обл.): отчёт о НИР (заключ.) / Белорус. гос. ун-т; рук. Б. В. Власов. — Минск, 2011. — 46 с. — № ГР 20114938.

8. *Матвеев, А. В.* Рельеф Белоруссии / А. В. Матвеев, Б. Н. Гурский, Р. И. Левицкая. — Минск : Университетское, 1988. — 320 с.

9. *Матвеев, А. В.* Рельеф Белорусского Полесья / А. В. Матвеев. — Минск : Наука и техника, 1982. — С. 52–81.

10. *Никаноров, А. М.* Гидрохимия / А. М. Никаноров. — Л. : Гидрометеиздат, 1989. — 232 с.

11. *Никаноров, А. М.* Справочник по гидрохимии / А. М. Никаноров. — Л. : Гидрометеиздат, 1989. — 392 с.

12. Обобщённый перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ в воде водных объектов, используемых для рыбохозяйственных целей: утверждён Главрыбводоом Минхоза СССР 09.08.1990, № 12-04-11.

13. Озёра Белоруссии / О. Ф. Якушко [и др.]. — Минск : Ураджай, 1988. — 216 с.

14. Оценка современного состояния, перспективы рационального использования и охрана озёр Белорусского Полесья: отчёт о НИР (заключ.) Белорус. гос. ун-т; рук. О. Ф. Якушко. — Минск, 1985. — 112 с. — № ГР 01850012035.

15. *Россолимо, Л. Л.* Изменение лимнических экосистем под воздействием антропогенного фактора / Л. Л. Россолимо. — М. : Наука, 1977. — 144 с.

16. *Сиренко, Л. А.* «Цветение» воды и эвтрофирование / Л. А. Сиренко, М. Я. Гавриленко. — Киев : Наук. думка, 1978. — 230 с.

17. Составить технико-экономическое и экологическое обоснование рекреационного использования водных объектов Республики Беларусь с учётом их гидроклиматических, геоморфологических и санитарно-гигиенических характеристик: отчёт о НИР / Белорус. гос. ун-т. — Минск, 1998. — 283 с.

18. *Шилькрот, Г. С.* Причины антропогенного эвтрофирования водоёмов / Г. С. Шилькрот // Итоги науки и техники. Сер. Общая экология. Биоценология. Гидробиология. — М. : ВИНТИ, 1975. — Т. 2: Антропогенное эвтрофирование водоёмов. — С. 61–96.

19. *Dillon P. J.* The phosphorus budget of Cameron Lake, Ontario. The importance of flushing rates to the degree of eutrophy of lakes / P. J. Dillon // *Limnol. Oceanogr.* 1975, Vol. 20, iss. 1. — P. 28–36.

20. *Vollenweider, R. A.* Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication : technical report / R. A. Vollenweider ; Organiz. Econom. Cooper. Devel. — Paris, 1968. — Vol. 27. — 159 p.

Дата поступления материала 02.02.2023.

ДА ВЕДАМА АЎТАРАЎ



У сувязі са зменамі ў падатковым заканадаўстве з 01.01.2023 г. арганізацыі абавязаны падаваць звесткі пра ўсе даходы фізічных асоб. Таму пры налічэнні ганарару выдавецтва будзе падаваць звесткі пра даходы аўтараў незалежна ад факта атрымання грашовых сродкаў на рукі. Для таго каб ганарар не налічаўся, аўтар можа адмовіцца ад яго, прыклаўшы да матэрыялу, які дасылаецца ў рэдакцыю, заяву. Узор размешчаны на сайце aiv.by (Главная — Сотрудничество — Да ведама аўтараў).