

Биогенные элементы (азот и фосфор) в Харанорском водохранилище

Цыбекмитова Г. Ц., Матвеева М. О.

*Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения РАН
Россия, Чита
gzhit@bk.ru*

Харанорское водохранилище является природно-техногенным объектом, экологическое состояние которого обусловлено воздействием природных факторов и антропогенным давлением, связанным с работой гидроэлектростанции. Изменение состава и концентраций биогенных элементов является одним из индикаторов экологических состояний водоемов. Посредством комплексных экспедиционных исследований проведен анализ пространственного распределения биогенных элементов (азот и фосфор) в экосистеме Харанорского водохранилища. В содержании минеральных форм азота прослеживается сезонная динамика. В то же время, антропогенное воздействие на экосистему водохранилища, связанное с состоянием вод реки Онон и сбросом теплых вод ГРЭС, корректирует природные составляющие азотистых соединений. Наибольшее содержание нитритов выявлено летом. Сезонные изменения концентраций нитрат-ионов характеризуется также летним повышением и практически равномерным распределением их содержания по акватории водохранилища лишь с небольшим повышением в области подверженной температурным факторам и в районе насосной станции. Концентрация ионов аммония в сезонном аспекте, начиная с апреля по октябрь, имеет тенденцию к увеличению концентраций. Наибольшие концентрации общего фосфора в воде водохранилища наблюдается летом. Осеннее содержание фосфатов ниже, чем весеннее. Весною увеличение общего фосфора связано с внутриводоемными процессами разложения органического вещества. Анализ многолетних данных по гидрохимическому режиму Харанорского водохранилища показывает тенденцию сокращения концентрации таких веществ, как фосфаты, общий фосфор, аммонийный азот и увеличение содержания нитратов и нитритов. Вследствие постоянной подпитки Харанорского водохранилища водами реки Онон отмечается ускоренное возобновление водной массы, что не способствует стабилизации экосистемы по сравнению с другими природными водоемами. В связи с этим, отмечаемые изменения концентраций биогенных элементов являются характеристикой в большей степени современного внешнего воздействия, нежели характеристикой устоявшегося обособленного водоема.

Ключевые слова: нитриты, нитраты, ионы аммония, фосфаты, общий фосфор, Харанорское водохранилище.

ВВЕДЕНИЕ

Район наших исследований по физико-географическому местоположению находится в центрально-азиатской пустынно-степной области монгольской степной провинции Онон-Аргунского округа. В геоморфологическом отношении Харанорское водохранилище расположено в Тургинском межгорном понижении Улдза-Торейской высокой равнины (500–800 м) Онон-Аргунского района Агинско-Керуленской горной и равнинной области. С севера и северо-запада район ограничен Борщовочным хребтом (максимальная высота 1360 м), с востока и северо-востока – склонами Ононского хребта (1323 м) и хребта Кукульбей (1380 м), с юга – поймами рек Онон и Турга. Плоские и холмисто-увалистые равнины имеют сравнительно небольшое вертикальное и горизонтальное расчленение (Предбайкалье и Забайкалье..., 1965). Район исследований в экономическом отношении является сельскохозяйственным.

Изучение природно-техногенных систем имеет научно-практическое значение вследствие взаимоувязанных воздействий как природной системы на работу производства, так и производственных процессов на функционирование экосистемы (Протасов и др., 2008; Kowalski, Mazierski, 2008). В этой связи, проведена оценка экологического состояния Харанорского водохранилища. Одним из индикаторов экологических изменений водоемов является учет биогенных элементов. Биогенные элементы, такие как азот и фосфор играют немаловажную роль в водной экосистеме, определяя среду обитания гидробионтов и являясь

основой биопродуктивности водоемов (Lerman et al., 2004; Гашкина и др., 2012; Алимов и др., 2013; Мальфанов и др., 2017).

Цель исследования – на основе данных по концентрации биогенных элементов (азот и фосфор) в 2019 году провести сравнительный анализ их изменений и оценить качество воды в экосистеме Харанорского водохранилища.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Харанорское водохранилище является небольшим водоемом: площадь водного зеркала – 4,1 км², объем – 15,6 млн м³, средняя глубина – 3,4 м. Ложе водохранилища было сформировано в пределах естественного русла реки Турга и заполнено водой в 1995 году. Являясь наливным водоемом, его уровенный режим (573–574 м БС) поддерживается за счет подкачки воды из реки Онон. Водохранилище служит для водоснабжения, возведённого на его берегу Харанорской ГРЭС (Андрюк, 2005).

В основу работы положены материалы, полученные во время комплексных экспедиционных исследований в апреле, июле и в октябре 2019 года, а также результаты наших исследований за 1995–1997, 2001–2003 и 2013 годы. Станции отбора проб для изучения характера распределения биогенных элементов в Харанорском водохранилище представлены на рисунке 1.

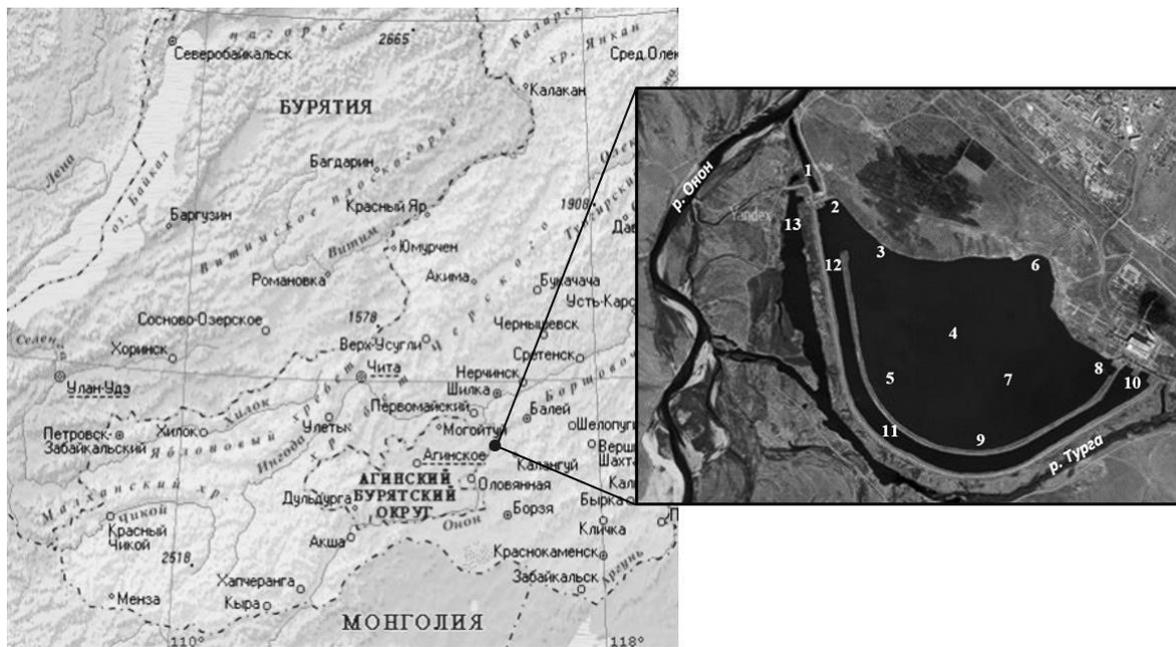


Рис. 1. Район работ и станции отбора проб в гидросооружениях Харанорской ГРЭС
1 – водоподводящий канал; 2 – береговая насосная станция; 3 – северный высокий берег; 4 – центр; 5, 7, 9 – ложе водохранилища; 6 – пляж; 8 – водосбросной канал; 10–12 – водозаборный канал; 13 – дренажный канал.

Выбор станций отбора проб связан с рядом особенностей, связанных с гидротехническими сооружениями Харанорского водохранилища (табл. 1). Пробы воды для анализа отбирали батометром Паталаса (объем 5 л) с поверхностных горизонтов водной толщи. Одновременно с отбором проб проводили измерения абиотических параметров среды с помощью многопараметрического портативного анализатора качества вод GPS-AQVAMETER (Aquahead, Великобритания). Глубину водной толщи измеряли с помощью лота, прозрачность воды определяли стандартным диском Секки. Химические анализы воды

Таблица 1

Обоснование выбора станций отбора проб в Харанорском водохранилище

Номера станций отбора проб	Координаты	Характеристика
1	N 50.868285° E 115.658760°	Водоподводящий канал – во время подкачки воды в большей степени характеризует состояние воды реки Онон
2	N 50.864337° E 115.661705°	Район береговой насосной станции – состояние абиотических факторов экосистемы неустойчивое в связи с постоянным разбавлением речными водами.
3	N 50.860315° E 115.671329°	Северо-западный высокий берег отличается от других станций отбора проб глубиной в 4 м, при средней глубине водохранилища в 3 м
4	N 50.855029° E 115.677683°	Центральная зона ложа водохранилища
5	N 50.850155° E 115.669138°	Литоральная зона центрального участка ложа водохранилища, берег пологий
6	N 50.859896° E 115.688286°	Литоральная зона ложа водохранилища, берег высокий
7	N 50.851686° E 115.685810°	Ложе водохранилища, район подверженный температурному фактору
8	N 50.851753° E 115.694820°	Водосбросный канал – зона, круглогодичного воздействия температурного фактора, зимой не покрывается льдом
9	N 50.845140° E 115.681193°	Ложе водохранилища – летом район подвержен воздействию температурного фактора как природного, так и антропогенного характера
10	N 50.849307° E 115.697423°	Водозаборный канал – конец
11	N 50.843573° E 115.676977°	Водозаборный канал – середина, заросший береговой и водной растительностью
12	N 50.859962° E 115.661964°	Водозаборный канал – начало
13	N 50.865428° E 115.657088°	Дренажные воды поступают обратно в реку Онон

на наличие биогенных элементов (азот и фосфор) проводили общепринятыми в гидрохимии методами. По выявлению нитритов – с добавлением реактива Грисса, нитратов – восстановление до нитритов с реактивом Грисса, аммонийных ионов – с реактивом Несслера, фосфатов – со смешанным с аскорбиновой кислотой реактивом, общего фосфора – сожжением с пересульфатом калия (Руководство..., 1977). При определении концентрации веществ использовали спектрофотометр Spekol-1300. Экологическую классификацию вод проводили по Романенко с соавторами (1993). Статистическую обработку данных выполняли с помощью пакета компьютерных программ STATISTICA 8.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Физико-химические показатели вод. Важными факторами для функционирования экосистемы являются температурный режим, обеспеченность минеральным питанием и

кислородом, а также глубина и прозрачность воды. Значения некоторых физико-химических параметров вод Харанорского водохранилища приведены в таблице 2.

Таблица 2
Физико-химические показатели вод Харанорского водохранилища (2019 г.)

Период отбора проб	Н, м	Пр., м	T, °C	pH	O ₂ , мг/л	Насыщение, %	ОВП, мВ	M, мг/л
Апрель	<u>0,5-4,4*</u> 3,3±0,90	<u>1,5-2,0</u> 1,7±0,4	<u>4,7-16,7</u> 5,7±1,80	<u>6,5-7,0</u> 6,7±0,1	<u>12,1-16,4</u> 13,0±0,8	<u>75-110</u> 98±5,6	<u>131-155</u> 144±4,7	<u>155-231</u> 212±11,3
Июль	<u>0,5-5,5</u> 3,1±0,97	<u>0,5-1,1</u> 0,8±0,1	<u>18,9-24,5</u> 24,4±1,28	<u>6,9-8,5</u> 7,9±0,3	<u>8,6-10,5</u> 9,5±0,4	<u>87-111</u> 93±5,3	<u>118-230</u> 169±21,0	<u>209-226</u> 218±2,5
Октябрь	<u>0,5-5,2</u> 2,6±0,87	<u>0,5-5,2</u> 2,6±0,9	<u>6,9-13,8</u> 8,5±1,03	<u>8,2-8,7</u> 8,4±0,1	<u>13,0-14,8</u> 14,0±0,2	<u>81-87</u> 85±1,9	<u>173-228</u> 198±21,9	<u>209-225</u> 215±3,5

Примечание к таблице. Н – глубина; Пр. – прозрачность; ОВП – окислительно-восстановительный потенциал; М – минерализация; * числитель – минимальное и максимальное, знаменатель – среднее значение.

Вследствие искусственного регулирования уровня режима водохранилища за счет подкачки воды из реки Онон, в сезонном аспекте средняя глубина водоема сохраняется в пределах трех метров. В мелководных водоемах, подверженных ветровому перемешиванию, преобладает минеральная взвесь, обуславливающая снижение прозрачности воды (Гашкина и др., 2012). В связи с этим, прозрачность водного столба в Харанорском водохранилище уменьшается в летнее время за счет ветро-волновых процессов и увеличения численности и биомассы планктонных организмов. Осенью увеличение прозрачности водного столба связано с уменьшением минеральной взвеси и затуханием роста и развития гидробионтов, что характерно как для природных водоемов, так и для водохранилищ (Бульон, 1968; Романенко, 1973; Протасов, Новоселова, 2015).

Вода водохранилища имеет реакцию среды от нейтральной до слабощелочной, что является природным фоном для водотоков ононского бассейна (Шестеркина, Шестеркин, 2017; Шестеркин, Шестеркина, 2018). Нейтрально-слабощелочная среда вод характерна и для других водоемов-охладителей (Замана и др., 1998; Ширеторова и др., 2019).

Вследствие планового увеличения мощности ГРЭС возросло давление температурного фактора на водоем. При обследовании водоема в июле 2019 года температура воды уменьшалась в направлении «водосборный канал» – «центр» – «береговая насосная станция» от 26,3 °C до 16,9 °C в поверхностном слое и в придонном слое – от 22,0 °C до 14,3 °C. Разница между слоями составляла 8–10 °C. В предыдущие годы наших исследований температура воды в водохранилище не поднималась выше 22 °C и разница между слоями соответствовала 1,5–3,0 °C (Итигилова и др., 2005). О возможном образовании температурного градиента в гидросооружениях водоема-охладителя показано (Протасов, Силаева, 2013).

Содержание растворенного кислорода в воде водохранилища подвержено сезонной динамике, соответствующей биохимическим процессам, происходящим в водоеме. Уменьшение содержания кислорода в летние месяцы происходит с увеличением температуры воздуха и с тепловым влиянием ГРЭС, в сумме приводящие к интенсификации процессов биохимического разложения органических и окисления минеральных веществ. При этом существенного снижения растворимости кислорода с увеличением температуры воды не отмечается, что является результатом интенсивного перемешивания водной массы, несмотря на высокую температуру воды и низкую растворимость кислорода, что было отмечено и для Рыбинского водохранилища (Kowalski, Mazierski, 2008). В целом, кислородный режим в воде Харанорского водохранилища периода открытой воды удовлетворительный (см. табл. 2).

ОВП является мерой химической активности элементов или их соединений в обратимых химических процессах, связанных с изменением заряда ионов в растворах (Токаренко, 2014).

В Харанорском водохранилище отмечается устойчивый тренд повышения ОВП с весны до осени. При этом такой же тренд изменений отмечаем и в значениях рН. Взаимосвязанность данных показателей представлено в работе (Калайда, Гордеева, 2017). По минерализации Харанорское водохранилище относится к пресноводным водоемам, характерным для района наших исследований (Шестеркина, Шестеркин, 2017; Шестеркин, Шестеркина, 2018), что удовлетворительно для технического водоснабжения (см. табл. 2).

Содержание минеральных форм азота в воде. К числу биогенных компонентов, присутствующих в природных водах, относятся соединения азота и фосфора, которые играют практически основную роль в водной экосистеме, определяя среду обитания гидробионтов. Увеличение концентрации биогенных веществ способствует эвтрофированию как природных, так и искусственных водоемов (Трифонов и др., 2005; Aslan, Kapdan, 2006; Даценко, 2007; Гашкина и др., 2012; Алимов и др., 2013; Протасов, Силаева, 2013).

Содержание минеральных форм азота в воде гидросооружений Харанорского водохранилища представлено в таблице 3.

Таблица 3

Концентрация азотных соединений в водохранилище Харанорской ГРЭС
в 2019 году (мг/л)

№ станции	Апрель			Июль			Октябрь		
	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺
1	0,005	0,002	0,001	0,200	0,520	0,003	0,011	0,003	0,032
2	0,002	0,004	0,001	0,230	0,580	0,003	0,011	0,001	0,015
3	0	0	0,008	0,080	0,480	0,005	0,009	0,040	0,020
4	0	0,008	0,001	0,170	0,590	0,004	0,008	0,009	0,014
5	0	0,004	0	0,140	0,560	0,007	0,003	0,005	0,008
6	0,020	0,160	0,003	0,180	0,400	0,004	0,008	0,030	0,015
7	0	0	0	0,140	0,520	0,005	0,007	0,005	0,016
8	0,020	0,120	0,004	0,120	0,640	0,005	0,005	0,015	0,023
9	0,001	0,008	0,001	0,040	0,640	0,005	0,003	0,002	0,013
10	0	0,002	0,001	0,200	0,420	0,005	0,005	0,010	0,015
11	0	0,040	0	0,400	0,480	0,004	0,004	0,002	0,018
12	0	0	0,007	0,200	0,580	0,004	0,002	0,009	0,024
13	0	0,08	0	0,400	0,440	0,002	0,007	0,005	0,032
Среднее	0,004	0,039	0,002	0,172	0,527	0,004	0,006	0,010	0,019
±m	0,004	0,033	0,002	0,064	0,048	0,001	0,002	0,007	0,004

Примечание к таблице. По станциям отбора проб: 1 – водоподводящий канал; 2 – береговая насосная станция; 3 – северный высокий берег; 4 – центр; 5, 7, 9 – ложе водохранилища; 6 – пляж; 8 – водосбросной канал; 10–12 – водозаборный канал; 13 – дренажный канал; ±m – стандартное отклонение при p=0,005; «0» – отсутствие показателя при определении азотных соединений.

О том, что весной водные массы в большей степени являются трансформированными зимними водами, бедными минеральными формами азота и общим фосфором указывается в работе по Рыбинскому водохранилищу (Былинкина, 1993). Кроме этого, температурный фактор (см. табл. 2), отсутствие подпитки из реки Онон в период весенней съемки и другие внутриводоемные процессы способствовали низким показателям биогенных элементов (вплоть до аналитического нуля) в большинстве случаев по сравнению с летними результатами. Наибольшее содержание нитритов весной отмечалось на участках водохранилища, приближенных или подверженных воздействию температурного фактора (пляж и водосбросный канал) и в водоподводящем канале, характеризующей состояние вод реки Онон. Летом происходит увеличение содержания нитритов в воде, скачиваемой из реки Онон (водоподводящий канал и район береговой насосной станции) и по всей акватории

водохранилища, обусловленное внутриводоемными процессами окисления нитритов в нитраты. Осенью уменьшается концентрация нитритов, но выше, чем весенние показатели.

Сезонные изменения концентраций нитрат-ионов характеризуются летним повышением, когда практически равномерно распределены их концентрации по акватории водохранилища лишь с небольшим повышением в области подверженной температурным факторам (район водосбросного канала и в районе наиболее приближенному к сбросу воды с ГРЭС) и воздействию вод реки Онон.

Концентрация ионов аммония в сезонном аспекте, начиная с апреля по октябрь, изменяется от $0,002 \pm 0,001$ мг/л до $0,019 \pm 0,004$ мг/л. Весной повышение показателя выявлены на станциях: 3 (северный высокий берег) и 12 (водозаборный канал). Летние показатели по акватории водохранилища распределены более равномерно, в среднем соответствуют $0,004 \pm 0,001$ мг/л. Осенью выше средних показателей, соответствующей $0,019 \pm 0,004$ мг/л, выявлены на станциях: 1 (водоподводящий канал), 3 (северный высокий берег) и 8 (водосбросный канал). Северный высокий берег отличается глубиной в 4 м, при средней глубине водохранилища в 3 м (см. табл. 2). Скальный высокий берег создает условия затишья при ветро-волновых процессах, имеющих место в период открытой воды.

Таким образом, в содержании минеральных форм азота прослеживается сезонная динамика. Весной с естественным прогреванием водоема по акватории водохранилища отмечаются наименьшие концентрации минеральных форм азота, вследствие начала развития внутриводоемных процессов и возрастания потребности гидробионтов в биогенных веществах (Былинкина, 1993; Кондратьев и др., 2010; Гашкина, 2011; Мальфанов и др., 2017).

Летом при бурном росте и развитии гидробионтов и поступлении дополнительного аллохтонного вещества с водами реки Онон, в связи с подкачкой воды, отмечалось повышение концентраций минеральных форм азота. Наибольшие концентрации биогенных веществ в июле наблюдались в водозаборном и дренажном каналах, заросшем береговой и водной растительностью, и в центральных участках ложа водохранилища, связанной с наибольшим летним прогревом водной массы водохранилища.

Осеннее повышение биогенных веществ, если не учитывать влияния вод реки Онон и температурного воздействия ГРЭС, выявлено по северному берегу водохранилища. На данных участках в осенний период при ветро-волновых процессах наносится больше органических веществ, в связи с защищенностью от ветра высокими берегами водохранилища, нежели на открытых участках водоема.

В то же время, антропогенное воздействие на экосистему водохранилища, связанное с состоянием вод реки Онон и сбросом теплых вод ГРЭС, корректирует природные составляющие азотистых соединений.

Аналогичная картина хода сезонных изменений и соответствующие концентрации биогенных веществ отмечается в экосистеме Чебоксарского водохранилища (Кочеткова и Чекмарева, 1993) и в водоеме-охладителе Big Stone в Южной Дакоте (Gronke, Troelstrup, 2001), но полученные результаты выше, чем в олиготрофном Онежском озере с сильным влиянием речных вод (Сабылина и др., 2012).

Содержание фосфатов и общего фосфора в воде. Содержание фосфатов и общего фосфора в воде представлено в таблице 4. Повышенные концентрации фосфатов отмечались: весной – в центральных станциях ложа водохранилища и в дренажном канале.

Летом самые высокие концентрации фосфатов наблюдаются вдоль северо-западного высокого берега водохранилища, в центральной зоне и в водозаборном канале. Осенние повышенные концентрации фосфатов связаны с воздействием вод реки Онон и температурными факторами сбросных вод ГРЭС. Концентрация общего фосфора в водохранилище летом увеличивается до $0,023 \pm 0,005$ мг/л. Осеннее содержание общего фосфора ниже, чем весеннее. Весною увеличение общего фосфора связано с внутриводоемными процессами разложения органического вещества (Søndergaard et al., 2003).

Таблица 4

Содержание фосфорных соединений в водохранилище Харанорской ГРЭС
2019 году (мг/л)

№ станции	Апрель		Июль		Октябрь	
	PO ₄ ³⁻	P _{общ.}	PO ₄ ³⁻	P _{общ.}	PO ₄ ³⁻	P _{общ.}
1	0,001	0,015	0,011	0,027	0	0,016
2	0,002	0,013	0,010	0,031	0	0
3	0	0,008	0,015	0,036	0	0,005
4	0,007	0,019	0,012	0,013	0	0,007
5	0,016	0,020	0,009	0,010	0	0,004
6	0,012	0,015	0,010	0,018	0,002	0,009
7	0,002	0,015	0,016	0,022	0,002	0,005
8	0,002	0,013	0,007	0,016	0	0,007
9	0,007	0,015	0,009	0,012	0	0,012
10	0,007	0,008	0,016	0,036	0,001	0,004
11	0,002	0,005	0,007	0,020	0,001	0,005
12	0	0,008	0,012	0,030	0,005	0,005
13	0,012	0,016	0,009	0,026	0	0,005
Среднее	0,005	0,013	0,011	0,023	0,001	0,006
±m	0,003	0,003	0,002	0,005	0,001	0,002

Примечание к таблице. По станциям отбора проб: 1 – водоподводящий канал; 2 – береговая насосная станция; 3 – северный высокий берег; 4 – центр; 5, 7, 9 – ложе водохранилища; 6 – пляж; 8 – водосборной канал; 10–12 – водозаборный канал; 13 – дренажный канал; ±m – стандартное отклонение при $p=0,005$; «0» – отсутствие показателя.

Летнее повышение общего фосфора связано как с внутриводоемными гидробиологическими процессами, так и внешним воздействием речных вод. Осенью выше среднего показателя ($0,006\pm 0,002$) выявлено на тех станциях, которые характеризуют антропогенное воздействие. О летнем воздействии речных вод, зачастую временно увеличивающей трофию озера и концентрации фосфора, отмечается как в олиготрофных озерах, например в Онежском озере (Сабылина и др., 2012; Калинкина и др., 2019), так и в водах водохранилищ (Былинкина, 1993; Даценко, 2007; Ширеторова и др., 2019).

Согласно полученным данным по концентрациям биогенных веществ в 2019 году, качество вод в водохранилище по содержанию аммонийного азота и фосфатам относится к классу чистых вод, по нитратному азоту – к классу слабозагрязненных.

Анализ многолетних данных по изменению биогенных веществ в воде Харанорского водохранилища представлено в таблице 5.

Сравнивая данные 1995–1997 годов, 20001–2003 годов и 2013 года и, учитывая результаты определений 2019 года, можно сказать, что прослеживается тенденция сокращения концентрации таких веществ, как фосфаты, общий фосфор, аммонийный азот и увеличение содержания нитратов и нитритов. Отмечаемое снижение концентрации фосфорных соединений и аммонийного азота в водохранилище, связано как с разбавлением его речными водами, так и с уменьшением количества атмосферных осадков в последние засушливые годы. В реке Онон при сокращении поступления сточных вод с водосборной площади (маловодные годы) происходит уменьшение концентраций азота аммонийного ($0-0,014$ мг/л, при среднем содержании $0,009\pm 0,001$ мг/л). Что касается фосфатов и общего содержания фосфора, скорее всего, имеет место весенняя интенсификация внутриводоемных процессов, связанных с образованием первичного органического вещества. Увеличение содержания нитратов указывает на возрастание процессов разложения органического вещества при увеличении градиента температур.

Таблица 5

Содержание биогенных элементов в воде Харанорского водохранилища в разные годы исследований (мг/л)

Показатель	Годы наблюдений			
	1995–1997 ¹	2001–2003 ¹	2013	2019
Азот аммонийный (NH ₄ ⁺)	<u>0,010–0,190*</u> 0,080±0,020	<u>0,010–0,250</u> 0,110±0,059	<u>0,079–0,636</u> 0,292±0,144	<u>0,003–0,024</u> 0,008±0,001
Азот нитритный (NO ₂ ⁻)	<u>0,005–0,050</u> 0,017±0,010	<u>0,007–0,035</u> 0,016±0,008	<u>0,002–0,007</u> 0,005±0,001	<u>0,002–0,400</u> 0,069±0,030
Азот нитратный (NO ₃ ⁻)	<u>0,004–0,150</u> 0,050±0,025	<u>0,010–0,035</u> 0,030±0,002	<u>0,030–0,460</u> 0,062±0,025	<u>0,001–0,640</u> 0,200±0,097
Фосфат-ион (PO ₄ ²⁻)	<u>0,011–0,053</u> 0,021±0,013	<u>0,020–0,380</u> 0,072±0,032	<u>0,014–0,094</u> 0,058±0,012	<u>0,002–0,016</u> 0,006±0,002
Общий фосфор (P _{общ.})	<u>0,015–0,070</u> 0,030±0,007	<u>0,005–0,380</u> 0,098±0,055	<u>0,003–0,122</u> 0,081±0,052	<u>0,004–0,036</u> 0,014±0,008

Примечание к таблице. ¹ По данным Г. Ц. Цыбекмитовой и В. Н. Субботиной (2005); * min–max, под чертой среднее.

Хотя водосборный бассейн Харанорского водохранилища находится в аграрном районе, многолетние изменения данных по концентрации азота и фосфора ниже значений, полученных по оз. Тайху и в ряде озер Англии, подверженных воздействию сельскохозяйственного производства (Sims et al., 1998; Chen et al., 2010). Это еще раз подтверждает, что в маловодные годы содержание азота и фосфора в Харанорском водохранилище зависит от одного из внешних воздействий, как экологическое состояние вод реки Онон.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Харанорское водохранилище является природно-техногенным объектом, экологическое состояние которого обусловлено воздействием природных факторов и антропогенным давлением, связанным с работой гидроэлектростанции. Изменение состава и концентраций биогенных элементов является одним из индикаторов экологических состояний водоемов. В содержании минеральных форм азота прослеживается сезонная динамика. В то же время, антропогенное воздействие на экосистему водохранилища, связанное с состоянием вод реки Онон и сбросом теплых вод ГРЭС, корректируют природные составляющие биогенных веществ в воде Харанорского водохранилища. Наибольшее содержание нитритов выявлено летом (0,172±0,064 мг/л). Сезонные изменения концентраций нитрат-ионов характеризуется также летним повышением (0,527±0,048 мг/л) и практически равномерным распределением их содержания по акватории водохранилища лишь с небольшим повышением в области подверженной температурным факторам и в районе насосной станции. Концентрация ионов аммония в сезонном аспекте, начиная с апреля по октябрь, изменяется от 0,002±0,001 мг/л до 0,019±0,004 мг/л. Концентрация общего фосфора в водохранилище летом увеличивается до 0,023±0,005 мг/л. Осеннее содержание фосфатов ниже, чем весеннее. Весною увеличение общего фосфора связано с внутриводоемными процессами разложения органического вещества. Анализ многолетних данных по гидрохимическому режиму Харанорского водохранилища показывает тенденцию сокращения концентрации таких веществ, как фосфаты, общий фосфор, аммонийный азот и увеличение содержания нитратов и нитритов. Вследствие постоянной подпитки Харанорского водохранилища водами реки Онон отмечается ускоренное возобновление водной массы, что не способствует стабилизации экосистемы по сравнению с другими природными водоемами. В связи с этим, отмечаемые изменения концентраций биогенных элементов являются характеристикой в большей степени

современного внешнего воздействия, нежели характеристикой устоявшегося обособленного водоема.

Работа выполнена в рамках госзадания ФГБУН ИППРЭК СО РАН «Биоразнообразие природных и природно-техногенных экосистем Забайкалья (Центральной Азии) как индикатор динамики региональных изменений климата», № АААА-А17-117011210078-9.

Список литературы

- Алимов А. Ф., Богатов В. В., Голубков С. М. Продукционная гидробиология. – СПб: Наука, 2013. – 339 с.
- Андрюк А. А. Система технического водоснабжения ГРЭС // Водоем-охладитель Харанорской ГРЭС и его жизнь. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. – С. 27–29.
- Бульон В. В. Связь между концентрацией планктона и прозрачностью воды в озерах и водохранилищах // Морфология, систематика и эволюция животных: Сб. науч. работ. – Л., 1968. – С. 49–50.
- Былинкина А. А. Содержание азота и фосфора в воде Рыбинского водохранилища в период автотрофной стадии его функционирования // Современное состояние экосистемы Рыбинского водохранилища. – СПб.: Гидрометеиздат, 1993. – С. 27–41.
- Гашкина Н. А. Зональные особенности распределения биогенных элементов и органического вещества в малых озерах // Водные ресурсы. – 2011. – Т. 38. – № 3. – С. 325–344.
- Гашкина Н. А., Моисеенко Т. И., Кремлева Т. А. Особенности распределения биогенных элементов и органического вещества в малых озерах и лимитирование их трофности на Европейской территории России и западной Сибири. Биогеохимия // Вестник Тюменского государственного университета. – 2012. – № 12. – С. 17–25.
- Даценко Ю. С. Эвтрофирование водохранилищ. Гидролого-гидрохимические аспекты. – Москва: ГЕОС, 2007. – 251 с.
- Замана Л. В., Стрижова Т. А., Чечель Л. П. Гидрохимическая характеристика озера и его водосбора // Экология городского водоема. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1998. – С. 29–35.
- Итигилова М. Ц., Горлачева Е. П., Матюгина Е. Б. Динамика температуры воды // Водоем-охладитель Харанорской ГРЭС и его жизнь. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. – С. 34–40.
- Калайда М. Л., Гордеева М. Э. Окислительно-восстановительный потенциал как показатель качества естественных и искусственных водоемов в структуре рыбохозяйственного мониторинга. – М.: Импульс, 2017. – С. 279–291.
- Калинкина Н. М., Теканова Е. В., Сабылина А. В., Рыжаков А. В. Изменения гидрохимического режима Онежского озера с начала 1990-х годов // Известия РАН. Серия географическая. – 2019. – № 1. – С. 62–72.
- Кондратьев С. А., Алябина Г. А., Сорокин И. Н. Оценка природной составляющей внешней нагрузки органическим веществом и биогенными элементами на водоемы северо-запада России // География и природные ресурсы. – 2010. – С. 130–136.
- Мальфанов И. Л., Вахрушева С. А., Тренина Н. Е. Оценка состояния Куршского залива на основании анализа содержания форм азота и фосфора в 2013-2017 годах // Труды АтлантНИРО. – 2017. – Т. 1, № 4. – С. 46–55.
- Предбайкалье и Забайкалье (природные условия и естественные ресурсы СССР). – М.: Наука, 1965. – 492 с.
- Протасов А. А., Панасенко Г. А., Бабарига С. П. Биологические помехи в эксплуатации энергетических станций, их типизация и основные гидробиологические принципы ограничения // Гидробиологический журнал. – 2008. – Т. 44, № 5. – С. 36–54.
- Протасов А. А., Силаева А. А. Техно-экосистема АЭС и её биотические элементы // Ядерная энергетика та довкілля. – 2013. – № 2. – С. 43–46.
- Протасов А. А., Новоселова Т. Н. Взаимосвязь между показателями прозрачности воды и развитием водорослей планктона в водоеме-охладителе Хмельницкой АЭС // Ядерная энергетика та довкілля. – 2015. – № 1. – С. 50–52.
- Романенко В. И. Связь между интенсивностью фотосинтеза при равномерном распределении водорослей в толще воды и прозрачностью по диску Секки // Биология внутренних вод: Информ. бюллетень ИБВВ АН СССР. – Л.: Наука, 1973. – № 19. – С. 11–15.
- Романенко В. Д., Окснюк О. П., Жукинский В. Н., Стольберг Ф. В., Лаврик В. И. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиологический журнал. – 1993. – Т. 29, Вып. 4. – С. 62–76.
- Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / [Ред. А. Д. Семенов]. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 541 с.
- Сабылина А. В., Ефремова Т. А., Рыжаков А. В., Зобков М. Б. Биогенные элементы и органическое вещество в Онежском озере и его заливах // Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах. Матер. V Всерос. симп. с междунар. участием. 10–14 сентября 2012 г., г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2012. – С. 75–78.
- Токаренко О. Г. Общая гидрогеология: химический состав и свойства природных вод. Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – 57 с.

Трифорова И. С., Расплетина Г. Ф., Беляков В. П., Макарецва Е. С., Чеботарев Е. Н. Экологическое состояние озерно-речной системы Вуоксы по гидрохимическим и гидробиологическим показателям // Экологическая химия. – 2005. – Т. 14, № 4. – С. 235–249.

Цыбекмитова Г. Ц., Субботина В. Н. Биогенные элементы // Водоем-охладитель Харанорской ГРЭС и его жизнь. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. – С. 49–56.

Шестеркин В. П., Шестеркина Н. М. Гидрохимия р. Онон и его притоков в среднем течении // Водные ресурсы и водопользование: Сб. матер. II междунар. научно-практ. конф. – Чита: Изд-во ЗабГУ, 2018. – С. 55–59.

Шестеркина Н. М., Шестеркин В. П. Гидрохимическая характеристика рек приононской равнины // Регионы нового освоения. Естественные сукцессии и антропогенная трансформация природных комплексов: Мат. междунар. конф. с междунар. участием. – Хабаровск, 2017. – С. 277–278.

Ширеторова В. Г., Раднаева Л. Д., Базаржапов Ц. Ж., Тулохонов А. К., Ли Цзехун, Донг Суоченг. Химический состав вод озера Гусиное – водоема-охладителя Гусиноозерской ГРЭС // Актуальные проблемы экологии и природопользования: Сб. науч. тр. XX Междунар. науч.-практ. конф. – М.: Изд-во РУДН, 2019. – С. 359–364.

Aslan S., Kapdan I. K. Batch kinetics of nitrogen and phosphorus removal from synthetic wastewater by algae. *Ecological Engineering*. – 2006. – Vol. 28, N 1. – P. 64–70. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2006.04.003>

Chen X., Wo F., Chen C., Fang K. Seasonal changes in the concentrations of nitrogen and phosphorus in farmland drainage and groundwater of the Taihu Lake region of China // *Environmental Monitoring and Assessment*. – 2010. – Vol. 169. – P. 159–168. DOI 10.1007/s10661-009-1159-3.

Gronke A.L., Troelstrup N.H.Jr. Nutrient Loadings and Phytoplankton Dynamics Within a Power Plant Cooling Pond // *Proceedings of the South Dakota Academy of Science*. – 2001. – Vol. 80. – P. 63–72. https://openprairie.sdstate.edu/oak-lake_research-pubs/7. Accessed 10 December 2019.

Kowalski E., Mazierski J. Effects of cooling water discharges from a power plant on reservoir water quality // *Oceanological and Hydrobiological Studies*. – 2008. – Vol. 37, N 2. – P. 107–118. <https://doi.org/10.2478/v10009-008-0001-5>.

Lerman A., Mackenzie F. T., May Ver L. Coupling of the perturbed C-N-P cycles in industrial time // *Aquatic Geochemistry*. – 2004. – Vol. 10. – P. 3–32. <https://doi.org/10.1023/B:AQUA.0000038955.73048.c1>

Sims J. T., Simard R. R., Joern B. C. Phosphorus loss in agricultural drainage: Historical perspective and current research // *Journal of Environmental Quality*. – 1998. – Vol. 27, N 2. – P. 277–293. <https://doi.org/10.2134/jeq1998.00472425002700020006x>

Søndergaard M., Jensen J. P., Jeppesen E. Role of sediment and internal loading of phosphorus in shallow lakes // *Hydrobiologia*. – 2003. – Vol. 506. – P. 135–145. <https://doi.org/10.1023/B:HYDR.0000008611.12704.dd>

Tsybekmitova G. Ts., Matveeva M. O. Biogenic elements (nitrogen and phosphorus) in the Kharanor reservoir // *Ekosistemy*. 2020. Iss. 24. P. 142–151.

Kharanorsk reservoir is a natural and technogenic object, the environmental condition of which is determined by the influence of natural factors and anthropogenic pressure connected with the operation of a hydroelectric power station. A change in the composition and concentration of nutrients is one of the indicators of the environmental changes in water bodies. The spatial distribution of biogenic elements (nitrogen and phosphorus) in the ecosystem of the Kharanor reservoir was analyzed by means of complex expedition studies. The content of mineral forms of nitrogen shows seasonal dynamics. At the same time, natural components of nitrogen compounds are modified by the anthropogenic impact on the ecosystem of the reservoir associated with the condition of the river Onon waters and warm water discharged from the state district power station. The highest nitrite content was registered in summer. Seasonal changes of nitrate ions concentration are also characterized by a summer increase and an almost uniform distribution of their content over the reservoir basin with only a slight increase in the area influenced by temperature factors and in the area of the pumping station. From April to October, the seasonal concentration of ammonium ions has a tendency to increase. The highest concentration of total phosphorus in the reservoir water is recorded in summer. In autumn phosphate concentration is lower than in spring. In spring, an increase in total phosphorus is associated with intra-water processes of decomposition of organic matter. The analysis of long-term data on the Kharanorsk reservoir hydrochemical regime proves a tendency of decrease in concentration of such substances as phosphates, total phosphorus, ammonium nitrogen, and increase in the content of nitrates and nitrites. Constant recharge of the Haranor reservoir by the waters of the Onon river results in an accelerated renewal of the water mass, which prevents stabilization of the ecosystem in comparison with other natural reservoirs. In this regard, the observed changes in the concentrations of nutrients are to a greater extent features of external influence than characteristics of a longstanding isolated reservoir.

Key words: nitrites, nitrates, ammonium ions, phosphates, total phosphorus, Kharanorsk reservoir.

Поступила в редакцию 01.07.20