

МРНТИ 70.27.17; 37.27.02

<https://doi.org/10.26577/EJE.2024.v79.i2-02>С.М. Романова^{1*}, Е.Г. Крупа^{1,2},А.С. Серикова¹¹РГП «Институт зоологии» КН МОН РК, г. Алматы, Казахстан²Казахстанское Агентство Прикладной экологии, г. Алматы, Казахстан

*e-mail: sofiyarom@mail.ru

СОЕДИНЕНИЯ АЗОТА И ФОСФОРА В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ КАЗАХСТАНСКОЙ ЧАСТИ БАСЕЙНА Р. ИРТЫШ

В статье приведены материалы собственных исследований по изучению распределения различных форм минерального азота и фосфора в бассейне реки Иртыш в летний период 2023 г. Установлено, что содержание минеральных форм азота и их соотношения неодинаковые в воде рек и озер. В воде притоков р. Иртыш преобладали нитратные ионы (от 0,03 до 1,033 мгN/дм³), с максимумом в правобережных притоках. На долю нитритных и аммонийных ионов приходилось, соответственно 2,7, 32,7 и 15,3, 38,3% от суммы азота. Доля нитратов в воде р. Черный Иртыш в среднем составила 59% от суммы азота. Ниже по течению, в пределах Павлодарской области, нитраты в воде чаще отсутствовали, а доля аммонийного азота возросла. Минеральный растворимый фосфор (фосфатные ионы) обнаружен в воде всех обследованных участков бассейна в незначительных концентрациях (0,015 – 0,130 мг/дм³) вследствие низкой растворимости его соединений и интенсивного поглощения гидробионтами. От верхних к нижним участкам Иртыша происходило небольшое увеличение концентрации соединений азота и фосфора, как следствие влияния антропогенного фактора.

Ключевые слова: биогенные элементы, нитриты, нитраты, ион аммония, фосфаты, природные воды, гидрохимия, предельно-допустимая концентрация, загрязнение, экология.

S.M. Romanova^{1*}, E.G. Krupa^{1,2}, A.S. Serikova¹¹"Institute of Zoology", Almaty, Kazakhstan²Kazakhstan Agency of Applied Ecology, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: sofiyarom@mail.ru;

Compounds of nitrogen and phosphorus in water bodies of the Kazakhstan part of the Irtysh River basin

We present materials from our research to study the distribution of various forms of mineral nitrogen and phosphorus in the Irtysh River basin in the summer of 2023. It has been established that the content of mineral forms of nitrogen and their ratios are not the same in the water of rivers and lakes. In the water of the river's tributaries. The Irtysh River was dominated by nitrate ions (from 0.039 to 1.033 mgN/dm³), with a maximum in the right-bank tributaries. The nitrite and ammonium ions share accounted for 2.7, 32.7 and 15.3, 38.3% of the total nitrogen, respectively. The share of nitrates in the Black Irtysh River averaged 59% of the amount of nitrogen. Downstream, within the Pavlodar region, nitrates were more often absent, and the proportion of ammonium nitrogen increased. Mineral soluble phosphorus (phosphate ions) was found in the water of all surveyed areas of the basin in insignificant concentrations (0.015 – 0.130 mg/dm³) due to the low solubility of its compounds and intensive absorption by hydrobionts. From the upper to the lower sections of the Irtysh there was a slight increase in the concentration of nitrogen and phosphorus compounds, as a result of the influence of the anthropogenic factor.

Key words: nutrients, nitrites, nitrates, ammonium ion, phosphates, natural waters, hydrochemistry, maximum permissible concentration, pollution, ecology.

С.М. Романова^{1*}, Е.Г. Крупа^{1,2}, А.С. Серікова¹, С.Н. Алексеев¹

¹ҚР ғылыми және жоғары білім министрлігі, Алматы қ., Қазақстан

²Қазақстан қолданбалы экология агенттігі, Алматы қ., Қазақстан

*e-mail: sofiyarom@mail.ru

Ертіс өзені бассейнінің қазақстандық бөлігінің су объектілеріндегі азот пен фосфор қосылыстары

Мақалада 2023 жылдың жазында өзен экожүйесінің әртүрлі компоненттерінде минералды азот пен фосфордың әртүрлі формаларының таралуын зерттеуге арналған жеке зерттеулердің материалдары келтірілген. Ертіс өзені салаларының суында азот қосылыстарынан нитрат иондары (0,039–ден.1,033 дейін мгN/дм³) басым. Ағындардың суындағы нитритті және аммоний иондарының үлесіне тиісінше азот сомасының 2,7...32,7 және 15,3...38,3% сәйкес келеді. Қара Ертіс өзенінің суындағы нитраттардың үлесі орта есеппен азот мөлшерінің 59% құрайды, ал Ертіс өзенінің суында нитраттар аз мөлшерде, ал аммоний азотының үлесі артады. Фосфат иондарының минералды еритін фосфоры зерттелген су объектілерінің суында оның қосылыстарының төмен ерігіштігі мен гидробионттардың қарқынды сіңуіне байланысты аз концентрацияда (0,015 – 0,130 мг/дм³) кездеседі. Әдетте, Қара Ертіс және Ертіс өзендерінің ағысында антропогендік фактордың әсерінен азот пен фосфор қосылыстарының концентрациясы аздап артады.

Түйін сөздер: биогендік элементтер, нитриттер, нитраттар, аммоний ионы, фосфаттар, табиғи сулар, гидрохимия, шекті рұқсат етілген концентрация, ластану, экология.

Введение

Состояние поверхностных вод суши зависит в большинстве случаев от содержания в них биогенных элементов, главными из которых являются разные формы соединений азота (нитратный, нитритный, аммонийный) и фосфора (фосфатный, гидрофосфатный, дигидрофосфатный). Эти элементы присутствуют как в незагрязненных, так и загрязненных природных водах. С одной стороны, они обеспечивают питание водной биоты, а с другой – при их высоких концентрациях происходит интенсивное развитие водных организмов. Такой процесс может привести вначале к ухудшению органолептических свойств воды, а далее к дефициту кислорода из-за его потребления при дыхании водных организмов, процессов окисления при отмирании организмов, а также участия кислорода, азота и фосфора в окислительно-восстановительных процессах экосистемы «вода – растение – донные отложения». Как следствие, происходит не только ухудшение качества воды и снижение биоразнообразия, но ограничение использования такой воды в народном хозяйстве.

Основными природными и антропогенными источниками биогенных элементов в реках и водоемах являются впадающие притоки, рассеянный поверхностный сток с водосборной площади, почвенный покров, переработка берегов и руслоформирующие процессы, различные внутриводоемные процессы, а также хозяйственно-бытовые, промышленные и сельскохозяйственные сточные воды. Соединения азота и фосфора

могут поступать в водоемы и водотоки и с атмосферными осадками, которые поглощают оксиды этих элементов из атмосферы.

В природных водах азот присутствует в виде разнообразных неорганических и органических веществ. К числу минеральных соединений относятся аммонийные, нитритные и нитратные ионы, которые генетически взаимосвязаны между собой и могут переходить друг в друга и в этой связи чаще всего рассматриваются совместно.

Азот аммонийный образуется в незагрязненных поверхностных водах в основном в результате биохимических процессов разложения белковых веществ, дезаминирования аминокислот и других азотсодержащих органических веществ. Наличие аммонийных ионов в воде в концентрациях, превышающих природные, указывает на «свежее» загрязнение.

Нитратный азот образуется в незагрязненных поверхностных водах, главным образом, в результате процессов нитрификации аммонийных ионов в аэробных условиях под действием нитрифицирующих бактерий. Наличие нитратного азота в воде в концентрациях, превышающих природные, указывает на «старое» загрязнение. В пресных водоемах нитраты активно используются растениями. Их содержание в водоемах определяется, как правило, соотношением между поступлением и потреблением растительными организмами.

Азот нитритный образуется как промежуточный продукт в цепи процессов окисления иона аммония до нитратного иона в аэробных

условиях, а также в результате восстановления нитратов до азота и аммиака, но в анаэробных условиях. Наличие нитритного азота, как и аммонийного азота, в воде в концентрациях, превышающих природные, также указывает на «свежее» загрязнение.

Фосфатные ионы являются важнейшими биогенными соединениями, чаще всего лимитирующими развитие продуктивности водоема. Увеличение концентрации фосфора в воде приводит к ускорению процессов эвтрофирования водных экосистем, т.е. к резкому повышению его биологической продуктивности, в частности, к «цветению» воды. Основными антропогенными источниками поступления фосфатов являются хозяйственно-бытовые и производственные сточные воды (особенно синтетические моющие средства), поверхностный сток с сельхозугодий при использовании фосфорных удобрений, стоки животноводческих ферм (0,01–0,05 кг/сут. на одно животное). Наиболее подвижной и легко усваиваемой гидробионтами формой минерального фосфора является фосфатный фосфор, т.е. продукт диссоциации трехосновной ортофосфорной кислоты. Эти три вида ионов образуются в незагрязненных поверхностных водах главным образом в результате разрушения и растворения фосфатсодержащих пород, подстилающих русло реки или дно водоема, биохимического разложения остатков животных и растительных организмов, как внутри водного объекта, так и за счет привноса соединений фосфора с водосборной площади.

Трансграничная река Иртыш и его притоки интенсивно используются как в Китае, России, так и в Казахстане для хозяйственного и питьевого водоснабжения. В саму реку и ее притоки поступают «условно чистые» промышленные,

сельскохозяйственные и коммунальные стоки. Так, сброс загрязняющих веществ промышленными предприятиями в водные объекты Иртышского бассейна составляют в среднем около 140 тыс. т в год [1, 2]. Около 11% стоков сбрасываются без очистки и около 33 % – недостаточно очищенными.

Авторами настоящего сообщения с 2023 г. начаты комплексные гидрохимические исследования водных объектов казахстанской части бассейна р. Иртыш с целью оценки вклада природных и антропогенных факторов в общий уровень загрязнения речной экосистемы, включая соединения минерального азота и фосфора.

Материалы и методы

В казахстанской части бассейна р. Иртыш из поверхностного слоя на химический анализ отобрано 44 пробы воды в реке Иртыш от верховья (10 км ниже границы с КНР) до п. Урлютюб, притоках Кендерлик, Жарлы, Кальджир, Курчум, пойменных озерах (Орловское, Курколь, Старый Иртыш) и накопителе сточных вод Балкылдак. Пробы воды в водоемах отбирались с борта моторной лодки при постановке на якорь по намеченной сетке станций. Координатная привязка станций выполнялась с помощью GPS-навигатора GarminTrex. Пробы воды отобраны в пределах восточных долгот 47.620...51.825 и северных широт 84.936...77.185.

По морфометрическим показателям обследованные озера и притоки р. Иртыш относятся к малым (таблица 1). Река Курчум имеет длину 230 км, ширину 0,01...0,15 км, глубину до 0,3 м, площадь водосбора 5890 км². Длина р.Кальджир и р. Кендерлик 122 км и 95 км, площадь водосбора 3200 км² и 5330 км², соответственно.

Таблица 1 – Морфометрическая характеристика некоторых озер бассейна реки Иртыш

Названия	Длина, км	Ширина, км	Площадь водного зеркала, км ²	Длина береговой линии, км	Глубина, м	Над уровнем моря, м
Орловское	1,5	1,2	0,82	4,88		85
Курколь	2,7	2,2	1,12	4,76		168
Старица	2,35	0,12-0,23	0,35	5,12	0,3-2,3	77
Балкылдак	6	1,24 -3,65	11,17	21,77		112
Примечание – по: [3, Google планета., 2023]						

Химический анализ минеральных форм азота и фосфора в пробах воды проводился после консервирования хлороформом по общепринятым в гидрохимической практике методам [4,5]. Массовая концентрация ионов аммония определялась фотометрическим методом с реактивом Несслера, нитритных ионов – с реактивом Грисса, нитратных ионов – после их восстановления в кадмиевом редуторе с последующим определением образующихся нитритов реактивом Грисса, фосфатных ионов – с аскорбиновой кислотой до образования фосфорно-молибденового комплекса. В ходе анализа процент ошибок не превышал допустимых значений их погрешности. Все пробы воды анализировались в трехкратной повторности. Для получения достоверных результатов применялась математическая обработка [6].

Основными критериями качества вод по гидрохимическим показателям являются значения предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ для водоемов рыбохозяйственного водопользования [7,8].

Результаты и их обсуждение

В воде притоков р. Иртыш из соединений азота преобладающими являлись нитратные ионы (0,039...1,033 мгN/дм³) (таблица 2, ри-

сунки 1-3). Больше всего нитратов обнаружено в воде правобережных притоков Курчум и Кальджир. На долю нитритных и аммонийных ионов приходится, соответственно, 2,7...32,7 и 15,3...38,3% от суммы азота.

В воде р. Черный Иртыш нитраты были обнаружены практически повсеместно в количестве 0,044...0,862 мгN/дм³. Снижение количества нитратов вниз по течению реки свидетельствовало об усилении процесса денитрификации и самоочищении водных масс. Доля нитратов в воде р. Черный Иртыш в среднем составляла 59% от суммы азота. Нитратный азот чаще отсутствовал, при размахе колебаний его концентраций в пределах 0...0,126 мгN/дм³. Основным процессом, способствующим снижению концентрации нитрат-ионов, является потребление их фитопланктоном и денитрифицирующими бактериями, которые при дефиците растворенного в воде кислорода используют нитратный кислород на окисление органических веществ. Увеличение средней концентрации нитратов почти в 2 раза было отмечено в воде р. Иртыш на участке ниже г. Павлодар (0,018 мгN/дм³) по сравнению с участком до г. Павлодар (0,009 мгN/дм³), что указывает на вклад урбанизированной территории в увеличение органического загрязнения Иртыша (таблица 3).

Таблица 2 – Предельные значения концентрации соединений азота и фосфора в бассейне р. Иртыш, июль 2023 г.

№ участка	Значение	Нитратный ион		Нитритный ион		Аммонийный ион		Фосфор, мг/дм³
		мгN/дм³	мг/дм³	мгN/дм³	мг/дм³	мгN/дм³	мг/дм³	
р. Кендерлик (п. Даир)								
1		0,039	0,173	0,034	0,111	0,031	0,040	0,035
р. Жарлы (п. Биржан)								
2		0,179	0,791	0,037	0,121	0,039	0,050	0,030
р. Кальджир (правый приток)								
3	мин.	0,696	3,083	0,021	0,069	0,280	0,360	0,015
	макс.	0,964	4,270	0,065	0,213	0,840	1,080	0,045
р. Курчум (правый приток)								
4	мин.	0,404	1,790	0,055	0,180	0,093	0,120	0,030
	макс.	1,033	4,586	0,057	0,187	0,109	0,140	0,030
р. Черный Иртыш								
5	мин.	0	0	0.015	0.049	0.016	0.020	0,020
	макс.	0.862	3.817	0.037	0.121	0.685	0.880	0,075

Продолжение таблицы

№ участка	Значение	Нитратный ион		Нитритный ион		Аммонийный ион		Фосфор, мг/дм³
		мгN/дм³	мг/дм³	мгN/дм³	мг/дм³	мгN/дм³	мг/дм³	
р. Иртыш (выше г. Павлодар)								
6	мин.	0	0	0,030	0,098	0,280	0,360	0
	макс.	0,052	0,230	0,064	0,210	0,482	0,620	0,040
р. Иртыш (г. Павлодар)								
7	мин.	0	0	0,042	0,138	0,342	0,440	0,010
	макс.	0	0	0,058	0,190	0,583	0,720	0,025
р.Иртыш (ниже г. Павлодар)								
8	мин.	0	0	0,015	0,048	0,389	0,500	0
	макс.	0,126	0,558	0,110	0,361	0,793	1,020	0,050
Старый Иртыш								
9	мин.	0	0	0,028	0,092	0,607	0,780	0,030
	макс.	0	0	0,092	0,302	1,229	1,580	0,050
о. Орловское								
10	мин.	0	0	0,050	0,164	0,965	1,240	0,020
	макс.	0,030	0,133	0,0986	0,282	1,229	1,580	0,030
о. Курколь								
11	мин.	0,093	0,412	0	0,010	0,054	0,070	0,050
	макс.	1,032	4,572	0,018	0,060	0,124	0,160	0,130
Отстойник Былкылдак								
12		0,006	0,026	0,054	0,177	0,050	0,060	0,070
	ПДК, мг/ дм³	9,1		0,02		0,39		0,05

Таблица 3 – Средние значения концентрации соединений азота и фосфора в бассейне р.Иртыш, июль 2023 г.

Участок	Нитратный ион		Нитритный ион		Аммонийный ион		Фосфор, мг/дм ³
	мгN/дм ³	мг/дм ³	мгN/дм ³	мг/дм ³	мгN/дм ³	мг/дм ³	
1	0,039	0,173	0,034	0,111	0,031	0,040	0,035
2	0,179	0,791	0,037	0,121	0,039	0,050	0,030
3	0,825	3,654	0,042	0,138	0,555	0,713	0,030
4	0,719	3,183	0,056	0,184	0,101	0,130	0,030
5	0,322	1,421	0,027	0,084	0,193	0,248	0,034
6	0,009	0,042	0,046	0,152	0,384	0,494	0,022
7	0	0	0,052	0,172	0,452	0,576	0,019
8	0,018	0,080	0,052	0,171	0,527	0,678	0,027
9	0	0	0,060	0,197	0,898	1,153	0,038
10	0,010	0,044	0,065	0,214	1,084	1,393	0,026
11	0,614	2,723	0,009	0,030	0,087	0,113	0,088
12	0,006	0,026	0,054	0,177	0,050	0,060	0,070
ПДК	9,100	40,000	0,020	0,080	0,390	0,500	0,05

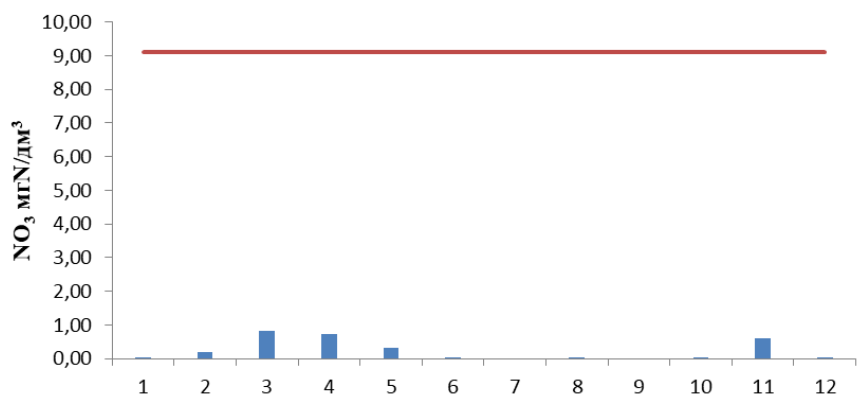


Рисунок 1 – Распределение содержания нитратного азота в бассейне р. Иртыш, июль 2023 г.
Усл.обозн. на оси абсцисс указаны номера участков по таблице 2;
красная линия соответствует ПДК компонента

Представляет интерес сопоставить результаты по содержанию нитратов за предыдущие годы. Содержание нитратов в воде р. Иртыш в 1969-1978 гг. изменялось в пределах 0-0,90 мгN/л, что составляло 90,1% от суммы соединений азота [9], а в 1989-1990 гг. – 0-0,12 мгN/л (63,1% от суммы соединений азота) [10]. По имеющимся данным [11], содержание нитратного азота в воде р. Иртыш в пределах Павлодарской области за 1990-1999 гг. составляло 0,12 – 0,22 мгN/дм³. Можно заключить, что за многолетний период концентрация нитратов в воде р. Иртыш изменялась в близких пределах.

Вода пойменных озер Старица и Орловское чаще не содержала нитратов, лишь в одной пробе из шести их концентрация составляла 0,030 мгN/дм³, а в воде оз. Курколь отмечено постоянное их присутствие от 0,093 до 1,032 мгN/дм³ или 86,4% от суммы азота. В воде озера накопителя сточных вод Балкылдак концентрация нитратного азота была близка к нулю. В воде всех объектов содержание нитратов не превышало ПДК (9,1 мгN/дм³) (рисунок 1).

Нитритный азот был обнаружен повсеместно, что говорит о «свежем» загрязнении (рисунок 2). Так, в воде р. Черный Иртыш его концентрация изменялась в пределах 0,015...0,037 мгN/дм³, составляя в среднем 1,4ПДК, но доля в общей сумме азота не превышала 5%. Иртышская вода, протекая по территории Павлодарской области, накапливает нитриты, почти в 2 раза, и доля в общей сумме азота возрастает до 10,3%. Данные по нитритам в иртышской воде в пределах Павлодарской области, полученные в 1990...1999 гг., на порядок выше (0,13...0,65 мгN/дм³) [1]. Если взять воду р. Черный Иртыш

условно как фоновую, то можно заметить, что содержание нитритов в воде р. Иртыш в конечном пункте п. Урлютюб возросло в 1,9 раз или 2,6ПДК. Притоки Иртыша вносят воду, содержащую нитритный азот от 0,02 до 0,07 мгN/дм³. Наиболее загрязнена нитритами вода р. Курчум (2,8ПДК), в меньшей степени – вода р. Кендерлик (1,7ПДК). Среднее содержание нитритов в воде пойменных озер Старицы и Орловское несколько больше (0,060...0,065 мгN/дм³), чем в р.Иртыш (таблица 3). В оз. Курколь было отмечено значительно меньшее количество нитритного азота (0,009 мг/дм³). Доля нитритов в воде отстойника Балкылдак составляла 49% от суммы минерального азота. Концентрация нитритов во всех водных объектах, кроме оз. Курколь, превышала ПДК в 1,4...3,3 раза.

Повышенное содержание нитритных ионов в воде является следствием усиления процессов разложения органических и минеральных веществ в условиях медленного окисления (особенно в летнее время), а также связано с активностью фитопланктона, что указывает на загрязнение водного объекта, т.е. является одним из важных санитарных показателей.

Вода притоков р. Иртыш, р. Черный Иртыш содержала аммонийный азот в концентрациях, не превышающих ПДК, за исключением р. Кальджир (1,4 ПДК) (рисунок 3). На долю аммонийного азота здесь приходилось 11,6...39,0% от суммы неорганического азота. По течению р. Иртыш было отмечено заметное увеличение содержания аммонийных ионов в среднем от 0,193 мгN/дм³ в верховье до 0,527 мгN/дм³ (1,4ПДК) на самом нижнем участке, в районе п. Урлютюб. Доля аммонийного азота возросла до 89,7% от

суммы минерального азота. Это связано с тем, что на данном участке были созданы благоприятные условия для процессов денитрификации. Потенциальное влияние на повышение оказывали и «условно чистые» сточные воды, поступающие в Иртыш в пределах Павлодарской области. Согласно имеющимся данным [1,11], в 1990...1999 гг. содержание аммонийного азота в воде этого участка реки изменялось в пределах 0,13...0,86 мгN/дм³, что согласуется с нашими данными. В воде пойменных озер Старицы и

Орловское также преобладал азот аммонийный (94% от суммы азота). Его содержание в этих озерах составило 2,3ПДК и 2,8ПДК, соответственно. Такие концентрации свидетельствуют, как правило, о «свежем» загрязнении. В воде озера Курколь среднее содержание аммонийного азота было меньше (0,087 мгN/дм³, чем в других озерах и р.Иртыш и не выходило за пределы ПДК. Вода накопителя Балкылдак содержала аммонийного азота еще меньше, в среднем 0,050 мгN/дм³.

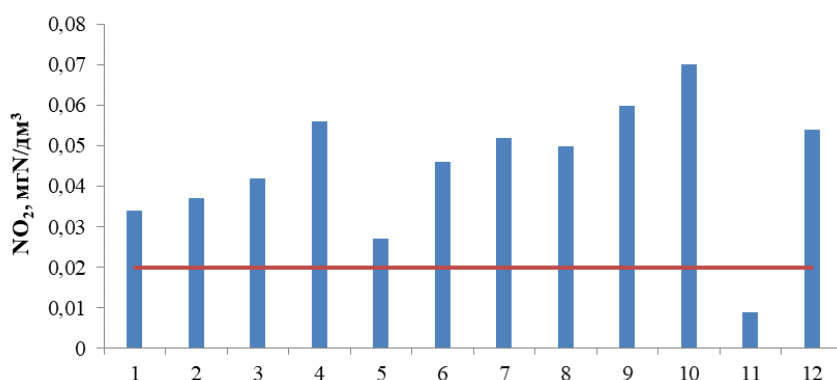


Рисунок 2 – Распределение содержания нитритного азота в бассейне р. Иртыш, июль 2023 г.
Усл. обозн. см. рис. 1

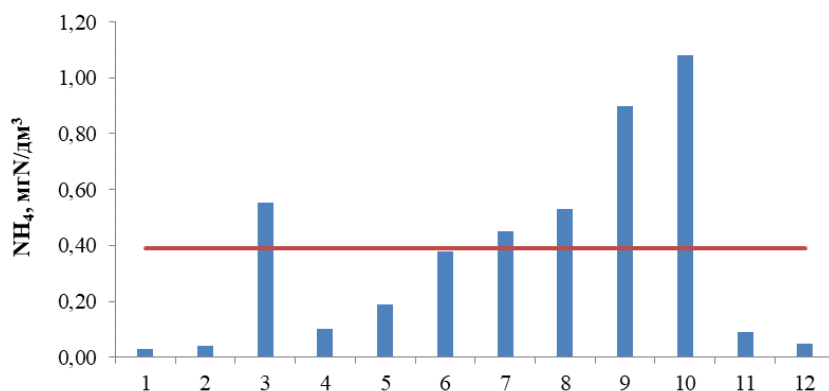


Рисунок 3 – Распределение содержания аммонийного азота в бассейне р.Иртыш, июль 2023 г.
Усл. обозн. см. рис. 1

Авторы [12] провели мониторинг состава сточных вод озера-накопителя Балкылдак во 2 квартале 2009 г. Значение концентрации всех форм азота в этот период было следующим: нитратов 0,9...1,60, нитритов 0,10...0,13 и аммонийного азота 3,3...4,5 мгN/дм³, причем превышение ПДК было отмечено только для аммонийных ионов в 8,5...11,5 раз. Кроме

того, установлено, что сточные воды АО «Каустик» и других промышленных предприятий г.Павлодар, поступающие в отстойник Балкылдак, содержали меньшие концентрации веществ, чем в самом озере-накопителе.

Соединения фосфора более устойчивы, чем соединения азота, поэтому даже при полном исчезновении нитратов соединения фосфора

можно обнаружить. Минеральный растворимый фосфор фосфатных ионов был обнаружен практически во всех исследуемых пробах воды в кон-

центрациях от 0,015 до 0,130 мг/дм³ вследствие низкой растворимости его соединений и интенсивного поглощения гидробионтами.

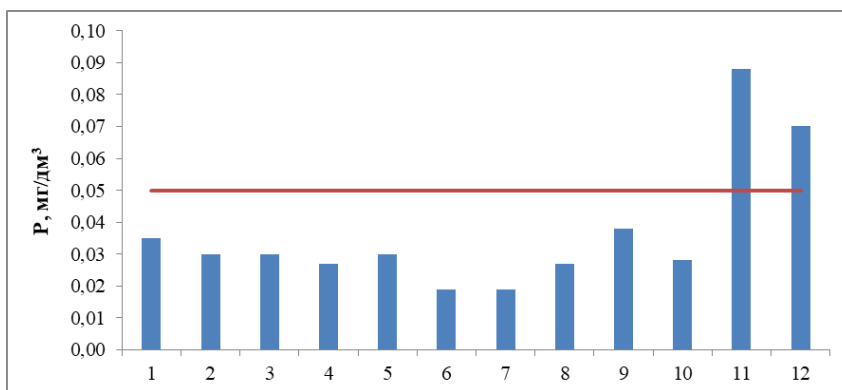


Рисунок 4 – Распределение содержания фосфора в бассейне р.Иртыш, июль 2023 г.
Усл. обозн. см. рис.1

Вода Черного Иртыша и его правобережных и левобережных притоков мало отличалась по содержанию фосфатов (0,030...0,035 мг/дм³). По течению р. Иртыш четко выраженного процесса самоочищения или загрязнения ионами ортофосфорной кислоты не было выявлено. Обнаружено, что на участках, расположенных ниже населенных пунктов, иртышская вода содержит большую концентрацию фосфат ионов, не превышающую предельно-допустимой величины. Так, концентрация фосфатного фосфора в воде р. Иртыш, отобранной ниже г. Курчатова, увеличилась на 0,020 мг/дм³ от 0 мг/дм³ до г. Курчатова. Содержание фосфора в иртышской воде ниже п. Железинка возросла на 0,015 мг/дм³ от 0,025 мг/дм³ выше п. Железинка. Наблюдалось незначительное увеличение среднего его содержания, на 0,005 мг/дм³ в воде, отобранной ниже г. Павлодар по сравнению с водой, взятой выше. Аналогичное явление отмечали и другие авторы в разные годы исследований [1,7-9]. Содержание фосфора в воде озер Орловское и Старица практически не отличалось от иртышской воды. В озере Курколь отмечены самые высокие концентрации фосфатов, до 0,13 мг/дм³ (2,6 ПДК), что на порядок выше, чем в остальных водных объектах. Этот факт свидетельствует о процессах, способствующих накоплению фосфат ионов в этой озерной воде. Вода озера накопителя Балкылдак содержит 0,070 мг/дм³ фосфатов. При исследовании состава воды отстойника Балкылдак в 2009 г. [12] была зафик-

сирована более высокая концентрация фосфат ионов, 0,152...0,232 мг/дм³.

Постоянное присутствие растворимых фосфатов в воде всех обследованных водных объектов можно объяснить его непрерывным поступлением в воду из донных отложений, которые постоянно взмучиваются ветровыми течениями. Динамическое равновесие между водными организмами и средой установлено многими исследователями природных водоемов [13-16]. Процессы потребления и регенерации фосфора трудно разграничимы в силу одновременного их протекания. Известно, что большая часть утилизированных фосфатов в процессе обмена веществ в организмах быстро возвращается обратно в воду. В некоторых случаях это связано с бурным развитием зоопланктона. По данным исследователей [17-20] лишь 7-10% поступающего в озеро фосфора остается в растворенном состоянии, остальная часть осаждается на дно. На процесс осаждения фосфатов оказывает влияние газовый режим, значения рН, концентрация таких ионов как кальций, магний и железо

Заключение

В июле 2023 г. во всех водных объектах, кроме притоков р. Иртыш, концентрация нитратного азота снизилась до аналитического нуля, вследствие потребления фитопланктоном и денитрифицирующими бактериями. За счет па-

раллельно протекающего процесса отмирания и разложения организмов, относительная доля аммонийного иона становилась выше, в 1,5...87 раз в воде р.Иртыш, 94...122 раза в озерах Старица и Орловское, 8 раз в озере накопителе Балкылдак, превышая содержание нитратов. Содержание нитритного азота в воде всех объектов превышает ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения в 1,7...3,0 раза, кроме оз.Курколь, в котором доля нитритов составляет всего 1,2% от суммы соединений азота.

Малые притоки р. Иртыш, водосборы которых имеют в основном сельскохозяйственное использование, являются одним из источников поступления минерального азота (от 0,104 до 1,422 мгN/дм³) и фосфатов (от 0,030 до 0,035 мг/дм³).

Минеральный растворимый фосфор фосфатных ионов обнаружен в воде изученных водоемов в незначительных концентрациях (0,015...0,130 мг/дм³) вследствие низкой раство-

римости его соединений и интенсивного поглощения гидробионтами. Как правило, по течению рек Черный Иртыш и Иртыш происходит небольшое увеличение концентрации соединений азота и фосфора, как следствие влияния антропогенного фактора.

Минеральные формы азота и фосфора распределены в водных объектах казахстанской части бассейна р. Иртыш неодинаково. Их концентрация зависит от ряда факторов, в том числе морфометрических и гидрологических условий, развития фитопланктона, полноты и характера циркуляции воды в реке и озере, от поступления биогенных элементов из почв береговой зоны, донных отложений и грунтовых вод, а также внутриводоемных процессов.

Работа выполнена в рамках проекта «Оценка состояния биоресурсов в казахстанской части бассейна Иртыша в условиях трансграничного использования водных ресурсов и климатических изменений» (ИРН: BR18574062-ОТ-23)

Литература

1. Бурлибаев М.Ж., Куц С.И., Фашевский Б.В., Опп К., Царегородцева А.Г., Шенбергер И.В., Бурлибаева Д.М., Айту-реев А.М. Затопление поймы Ертиса – главный фактор устойчивого развития речной экосистемы. – Алматы: Издательство «Каганат», 2014. – 396 с.
2. Водные ресурсы Павлодарской области, их охрана и рациональное использование: Учебное пособие. / Ш.Ш. Хамзина, З.М. Шарипова, Г.М. Омарова – Павлодар: Инновац. Евраз. ун-т, 2013. – 248 с.
3. Филонец, П.П. Очерки по географии внутренних вод Центрального, Южного и Восточного Казахстана: (Озера, водохранилища и ледники) / П.П.Филонец. – Алма-Ата: изд. «Наука» Казахской ССР, 1981. – 232 с.
4. Семенов А.Д. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 541 с.
5. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана. М.: Изд-во ВНИРО, 2003. 202 с.
6. Чарыков А.К. Математическая обработка результатов химического анализа. – Л.: Химия, 1984. – 168 с.
7. Фомин Г.С. Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам. (Энциклопедический справочник). – М.: НПО «Альтернатива», 1995. – 618 с.
8. Перечень рыбохозяйственных нормативов, предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. – М.: Изд-во ВНИРО, 1999 – 304 с.
9. Амиргалиев Н.А. Искусственные водные объекты Северного и Центрального Казахстана (гидрохимия и качество воды). – Алматы: НИЦ «Бастау», 1998. – 191 с.
10. Романова С.М. Характеристика гидрохимического режима канала Ертис-Караганда. Сообщение 2. Органические и биогенные вещества, нефтепродукты в воде// Гидрометеорология и экология.-Вып. 4, 2007.- С.63-73
11. Бурлибаев М.Ж., Муртазин Е.Ж. и др. Биогенные вещества в основных водотоках Казахстана. – Алматы: Каганат, 2003. – 723 с.
12. Закарина Н. А., Цхай А.И., Епифанцева Т.М., Акулова Г.В. Мониторинг состава сточных вод некоторых промышленных предприятий г. Павлодара, озера-накопителя Былдык и подземных вод //КР YFA хабарлары = Изв. НАН РК. Сер. химии и технологии. – 2011. – № 3.- С.21-24
13. Туреева К.Ж., Атажанова А.Д. Мониторинг биогенных элементов водных объектов в современных условиях Южного Приаралья// Universum: химия и биология: электрон. научн. журн. 2021. 9(87). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/12215>.- С.11-16
14. Никаноров А.М. Гидрохимия: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб: Гидрометеиздат, 2001. – 444 с.
15. Амиргалиев Н.А., Григорьева Э.Н. Биогенный сток рек в озеро Балхаш //Водные ресурсы. – 1984. -№ 6. – С. 97-103

16. Григорьева И.Л. Пространственно-временная изменчивость содержания биогенных элементов в воде водохранилищ верхней Волги//Матер.V Всерос. симп. с межд. участием, 10-14 сентября 2012, г.Петрозаводск, Республика Карелия, Россия.-Петрозаводск: Карел.науч.центр РАН, 2012.- С.137-140
17. Боровков В.С., Курочкина В.А. Роль седиментационных процессов в самоочищении водных объектов// Вестник МГСУ, 2010.-№4, т.2.-С.41-45
18. Halder B.R., Barthakur N.P. Sulphide production in some typical rice Soils of Assam //J.Indian Soc. Soil. Sci.- 1976.- Vol. 24, № 4.- P. 387-395.
19. North R.P., North R.L., Livingstone D.M., Köster O., Kipfer R. Long term changes in hypoxia and soluble reactive phosphorus in the hypolimnion of a large temperate lake: consequences of a climate regime shift. *Global change biology*, 2014, vol. 20(3), p. 811–823.
20. Soranno P.A., Carpenter S.R., Lathrop R.C. Internal phosphorus loading in Lake Mendota: response to external loads and weather. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1997, vol. 54(8), p. 1883–1893.

References

- 1 Burlibaev M.ZH., Kuc S.I., Fashchevskij B.V., Opp K., Caregorodceva A.G., SHenberger I.V., Burlibaeva D.M., Ajtureev A.M. Затопление поймы Ертиса – главный фактор устойчивого развития технол. экосистемы.- Алматы: Издател'ство «Kaganat», 2014.-396 s.
2. Vodnye resursy Pavlodarskoj oblasti, ih ohrana i racional'noe ispol'zovanie: Uchebnoe posobie. / SH.SH. Hamzina, Z.M. Sharipova, G.M. Omarova – Pavlodar: Innovac. Evraz. un-t, 2013. – 248 s.
3. Filonec, P.P. Oчерки po geografii vnutrennih vod Central'nogo, YUzhnogo i Vostochnogo Kazahstana: (Ozera, vodohranilishcha i ledniki) / P.P.Filonec. – Alma-Ata: izd. «Nauka» Kazahskoj SSR, 1981. – 232 s.
4. Semenov A.D. Rukovodstvo po himicheskomu analizu poverhnostnyh vod sushi. – L.: Gidrometeoizdat, 1977. – 541 s.3.
5. Rukovodstvo po himicheskomu analizu morskikh i presnyh vod pri ekologicheskom monitoringe rybohozyajstvennyh vodoemov i perspektivnyh dlya promysla rajonov Mirovogo okeana. M.: Izd-vo VNIRO, 2003. 202 s.
6. CHarykov A.K. Matematicheskaya obrabotka rezul'tatov himicheskogo analiza. – L.: Himiya, 1984. – 168 s.
7. Fomin G.S. Voda. Kontrol' himicheskoy, bakterial'noj i radiacionnoj bezopasnosti po mezhdunarodnym standartam. (Enciklopedicheskij spravochnik). – M.: NPO «Al'ternativa», 1995. – 618 s.
8. Perechen' rybohozyajstvennyh normativov, predel'no dopustimyh koncentracij (PDK) i orientirovochno bezopasnyh urovnj vozdeystviya (OBUV) vrednyh veshchestv dlya vody vodnyh ob'ektov, imeyushchih rybohozyajstvennoe znachenie. – M.: Izd-vo VNIRO, 1999 – 304 s.
9. Amiraliev N.A. Iskusstvennye vodnye ob'ekty Severnogo i Central'nogo Kazahstana (gidrohimiya i kachestvo vody). – Алматы: NIC «Bastau», 1998. – 191 s.
10. Romanova S.M. Harakteristika gidrohimicheskogo rezhima kanala Ertis-Karaganda. Soobshchenie 2. Organicheskie i biogennye veshchestva, nefteprodukty v vode// Gidrometeorologiya i ekologiya.-Vyp. 4, 2007.- S.63-73
11. Burlibaev M.ZH., Murtazin E.ZH. i dr. Biogennye veshchestva v osnovnyh vodotokah Kazahstana.- Алматы: Kaganat, 2003. – 723 s.
12. Zakarina N. A., Ckhaj A.I., Epifanceva T.M., Akulova G.V. Monitoring sostava stochnykh vod nekotorykh promyshlennykh predpriyatij g. Pavlodara, ozera-nakopitelya Bylkydak i podzemnykh vod //QR YFA habarlary = Izv. NAN RK. Ser. himii i tekhnologii.- 2011. – № 3.- S.21-24
13. Tureeva K.ZH., Atazhanova A.D. Monitoring biogennykh elementov vodnykh ob'ektov v sovremennykh usloviyah YUzhnogo Priaral'ya// Universum: himiya i biologiya : elektron. nauchn. zhurn. 2021. 9(87). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/12215>.- S.11-16
14. Nikanorov A.M. Gidrohimiya: Uchebnik. – 2-e izd., pererab. i dop. – SPb: Gidrometeoizdat, 2001. – 444 s.
15. Amiraliev N.A., Grigor'eva E.N. Biogennyj stok rek v ozero Balhash //Vodnye resursy.- 1984. -№ 6. – S. 97-103
16. Grigor'eva I.L. Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' soderzhaniya biogennykh elementov v vode vodohranilishch verhnej Volgi//Mater.V Vseros. simp. s mezhd. uchastiem, 10-14 sentyabrya 2012, g. Petrozavodsk, Respublika Kareliya, Rossiya.- Petrozavodsk: Karel.nauch.centr RAN, 2012.- S.137-140
17. Boroikov V.S., Kurochkina V.A. Rol' sedimentacionnykh processov v samoochishchenii vodnykh ob'ektov// Vestnik MGSU, 2010.-№4, t.2.-S.41-45
18. Halder, B.R., Bartakur, N.P. Sulphide production in some typical rice soils of Assam. (J.Indian Soc. Soil science) v. 24, No. 4.(1976):387-395.
19. North R.P., North R.L., Livingston D.M., Kester O., Kipfer R. Long-term changes in hypoxia and soluble reactive phosphorus in the hypolimnion of a large temperate lake: consequences of climate change. (*Biology of Global Changes*), v.20(3), (2014):811-823.
20. Soranno P.A., Carpenter S.R., Lathrop R.S. Internal phosphorus content in Lake Mendota: reaction to external loads and weather conditions. (*Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*), (1997), v. 54(8):1883-1893.

Авторлар туралы мәлімет:

Романова С.М. (корреспондент-автор) – география ғылымдарының докторы, гидробиологи және экотоксикология зертханасының бас ғылыми қызметкері, “Зоология институты” (Алматы, Қазақстан, email: sofyaarom@mail.ru)

Крупа Е. Г. – биология ғылымдарының докторы, “Зоология институты” гидробиология және экотоксикология зертханасының меңгерушісі (Алматы, Қазақстан, email: elena_krupa@mail.ru)

Серікова А.С. – “Зоология институты” гидробиология және экотоксикология зертханасының ғылыми қызметкер (Алматы, Қазақстан, email: serikova.aiz@mail.ru)

Information about authors:

Romanova S.M. (corresponding author) – Doctor of Geographical Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Hydrobiology and Ecotoxicology, “Institute of Zoology” (Almaty, Kazakhstan, email: sofyaarom@mail.ru)

Krupa Ye.G. – Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Hydrobiology and Ecotoxicology, “Institute of Zoology” (Almaty, Kazakhstan, email: elena_krupa@mail.ru)

Serikova A.S. – Researcher at the Laboratory of Hydrobiology and Ecotoxicology, “Institute of Zoology” (Almaty, Kazakhstan, email: serikova.aiz@mail.ru)

Поступила: 14 декабря 2023 года

Принята: 16 июня 2024 года