МНОГОЛЕТНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ФОРМ АЗОТА В ОЗЕРЕ АРАХЛЕЙ

Морозова М.О.

*Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия
marina_matveeva_94@inbox.ru*

LONG-TERM RESEARCH OF MINERAL FORMS OF NITROGEN IN LAKE ARAKHLEY

Morozova M.O.

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia

Приведены данные анализа экспедиционных исследований и фондовых материалов оз. Арахлей (1988–2020 гг.). Дана оценка изменения содержания азота в исследуемой воде. Отмечено, что формы азота являются санитарными показателями качества воды. Произведено сравнение полученных результатов с ПДК_{р/х} водоемов. Выявлено, что изменение содержания минеральных форм азота связано с климатическими изменениями и внутриводоемными процессами (нитрификация, денитрификация).

Ключевые слова: нитриты, нитраты, ионы аммония, озеро Арахлей.

The data of the analysis of expedition research and stock materials of Lake Arakhley (1988–2020) are presented. The changes in the nitrogen content in the water under study are estimated. It is noted that nitrogen forms are sanitary indicators of water quality. The obtained results are compared with the MPC_{т/х} of reservoirs. It is revealed that the change in the content of mineral forms of nitrogen is associated with climatic changes and intra-water processes (nitrification, denitrification).

Keywords: nitrites, nitrates, ammonium ions, Lake Arakhley.

Озеро Арахлей расположено на юге Витимского плоскогорья (Восточное Забайкалье). Входит в состав природоохранного объекта регионального значения – Ивано-Арахлейского природного парка, в водосборный бассейн оз. Байкал, имеет рекреационное значение для жителей Забайкальского края и является одним из основных мест отдыха населения [1].

Забайкальский край характеризуется резко континентальным климатом, что влияет на окружающую среду, в том числе и на состояние водоемов. Функционирование водоемов в условиях резко континентального климата имеет ряд специфических особенностей, отличающих их от подобных водоемов Европейской части страны. Данная территория характеризуется незначительным количеством осадков, которые распределяются неравномерно по сезонам, при этом отмечается высокая амплитуда годовых и суточных колебаний температур и невысокая влажность воздуха, что влияет на функционирование водоемов и распределение в них биогенных элементов [1].

В зависимости от уровня выпадения осадков происходит чередование многоводных и маловодных лет, которое имеет циклический характер. При этом в водных экосистемах происходит изменение содержания азота аллохтонного и автохтонного происхождения.

Содержание биогенных элементов в природных водах – один из факторов, который регулирует развитие фитопланктона, первого трофического звена озер, и определяет биологическую продуктивность водоема в целом [2]. Один из главных биогенных элементов – азот. На основе обобщения многолетних данных 1996–2020 гг., показана динамика минеральных форм азота в озере Арахлей, определены тенденции его долгосрочных изменений.

Оценка содержания форм азота была сделана по ГОСТ 330455 и общепринятым в гидрохимии методам [3; 11].

Азотсодержащие вещества – нитриты, нитраты и ионы аммония относят к санитарным показателям качества воды, т.к. они свидетельствуют о загрязнении воды хозяйственно-бытовыми сточными водами. Они образуются в воде, главным образом, в результате разложения белковых соединений в водоеме [7].

Нитриты. Ниже представлены многолетние данные по вертикальному распределению содержания нитритов в центральной зоне озера Арахлей (табл. 1).

Таблица 1

Среднее содержание нитритов в центральной зоне озера Арахлей (1988-2020 гг., мкг/л)

Год	88	96	97	98	08	09	10	13	14	15	16	17	18	19	20
Глубина, м															
Поверх.	2,0	0	4,0	5,0	21	15	0,5	1,5	0,8	2,5	12	54	0,5	3,0	45
4	-	0	4,0	5,0	34	12	0,5	15	0,7	5,0	19	58	0,2	-	3,0
8	-	0	6,0	3,0	12	9,0	0	2,0	1,0	3,0	13	99	0	10	1,0
12	-	-	0	1,0	9,0	8,0	0	0	0	1,0	26	-	-	-	-
13	3,0	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0	26	100	5,0	5,0	3,0
14	-	-	0	0	12	14	0	2,0	-	-	-	-	-	-	-
16	-	0	3,0	5,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Из представленных данных видно, что за 1988-2020 гг. отмечается широкий предел колебаний концентраций нитритов от 0 до 100 мкг/л. В течение анализируемых лет пределы колебаний по горизонтам толщи воды были незначительны: поверхностный слой – от 0 до 54 мкг/л, на глубине в 4 м – от 0 до 58 мкг/л, на глубине в 8 м – от 0 до 99 мкг/л, на глубине в 12 м – от 0 до 26 мкг/л. Концентрации нитритов увеличиваются с поверхностного горизонта до придонных слоев водной толщи: в поверхностном слое – 54 мкг/л, на глубине в 4 м – 58 мкг/л, на глубине в 8 м – 99 мкг/л, на глубине в 13 м – до 100 мкг/л.

В 1996 г. по всем горизонтам содержание нитритов не выявлено (ниже порога определения). В 2017 г. содержание нитритов значительно выше по сравнению со всеми исследуемыми годами, что можно связать с засушливым летним периодом. В 2018 г. концентрация нитритного иона в воде снизилась. Нахождение нитритов в озере связано с процессами минерализации органического вещества, нитрификации, процессами отмирания фитопланктона, в зонах дефицита кислорода в условиях замедленного развития бактерий «Nitrobacter» [9].

Предельно-допустимая концентрация нитритов в рыбохозяйственных водоемах (ПДК_{р/х}) соответствует 80 мкг/л [8]. В 2017 г. содержание нитритов близко к нормам ПДК_{р/х}, либо превышает норму (табл. 1). Увеличение концентрации нитритного азота в воде, имеющее место в 2017 г., является показателем усиленной деструкции органических остатков в водоеме в результате отмирания фитопланктона и зоопланктона, закончивших цикл своего развития [2].

Нитраты. Присутствие нитратов в водоеме связано с поступлением их с поверхностным и грунтовым стоком и процессами нитрификации аммонийных ионов в присутствии кислорода под действием нитрифицирующих бактерий [5].

В табл. 2 представлены данные по содержанию нитратов в центральной зоне Арахлей с 1988 по 2020 г.

Таблица 2

Среднее содержание нитратов в центральной зоне озера Арахлей (1988-2020 гг., мкг/л)

Год	88	96	97	98	08	09	10	13	14	15	16	17	18	19	20
Глубина, м															
Поверх.	8,0	15	8,0	15	30	18	27	1,0	1,0	2,0	210	160	570	150	6,0
4	-	20	6,0	10	26	25	13	0	0	5,0	320	180	960	10	5,0
8	-	10	7,0	10	34	23	-	0	1,0	3,0	-	290	1040	21	-
12	-	-	0	15	9	28	25	0	0	1,0	-	-	-	-	-
13	9,0	-	-	-	30	-	-	-	-	2,0	270	260	590	200	5,0
14	-	-	0	10	30	30	24	0	0	-	-	-	-	-	-
16	-	10	10	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Концентрация нитратного азота, начиная с 1988 г. подвержена колебаниям от 0 до 1040 мкг/л. Пределы колебаний вертикального распределения содержания нитратов в центральной зоне по годам, представлено следующим образом: поверхностный слой – от 1 до 570 мкг/л, на глубине в 4 м от 0 до 960 мкг/л, на глубине в 8 м от 0 – 1040 мкг/л, на глубине в 12 м – от 0 до 28 мкг/л, на глубине в 13 м – от 2 до 590 мкг/л, на глубине в 14 м – от 0 до 30 мкг/л, на глубине в 16 м – от 10 до 15 мкг/л. Высокое содержание нитратного азота наблюдается в 2016-2018 гг. по всем горизонтам и на нескольких глу-

бинах в 2019 г. с максимумом его концентрации в 2018 г., что соответствует 1040 мкг/л. Увеличение нитратов связано внутриводоемными процессами, в том числе процесса денитрификации.

Снижение нитратного азота внутриводоемного происхождения связано с потреблением его фитопланктоном, а также денитрифицирующими бактериями, которые при кислородной недостаточности используют кислород нитратов на окисление органического вещества [5]. В сравнении с ПДК_{р/х} превышений содержания нет [8].

Ионы аммония. Распределение аммонийного азота регулируется процессами аммонификации и нитрификации. Аммоний образуется при минерализации органического вещества, находящегося в толще воды и донных отложениях, в результате процессов биохимической деградации белковых веществ, разложения мочевины, а также поступает в водоем со стоком с водосборной площади и в результате жизнедеятельности гидробионтов [5; 9]. Увеличение содержания ионов аммония связано с периодами отмирания водных организмов, особенно в зонах их скопления: в придонном слое водоема, в слоях высокой плотности фито- и бактериопланктона [9]. Ниже показано содержание ионов аммония в центральной зоне оз. Арахлей за несколько лет (табл. 3).

Таблица 3

Среднее содержание ионов аммония в центральной зоне озера Арахлей (1988-2020 гг., мкг/л)

Год	88	96	97	98	08	09	10	13	14	15	16	17	18	19	20
Глубина, м															
0	-	100	70	70	10	29	40	49	30	0	16	7,0	3,0	4,0	15
4	-	100	93	15	25	28	0	4,0	25	22	5,0	2,0	0,5	0	1,0
8	-	100	86	82	45	29	0	15	6,0	14	-	5,0	5,0	4,0	-
12	-	-	60	10	26	23	20	15	37	0	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	750	-	-	-	-	0	27	9,0	1,0	3,0	50
14	-	-	80	500	0	32	43	15	25	-	-	-	-	-	-
16	-	400	200	230	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Пределы колебания концентраций ионов аммония по глубинам в течение исследуемого времени следующие: поверхностный слой – 0-100 мкг/л, на глубине в 4 м – 0-100 мкг/л, на глубине в 8 м – 0-100 мкг/л, на глубине в 12 м – 0-60 мкг/л, на глубине в 13 м – 0-750 мкг/л, на глубине в 14 м – 0-500 мкг/л, на глубине в 16 м – 200-400 мкг/л. Высокое содержание аммонийного азота прослеживается в 1996 г. по всем глубинам. В 1996 г. его содержание достигает 500 мкг/л на глубине 14 м и в 2008 г. – на глубине 13 м, и составляет 750 мкг/л. В сравнении с нитритами и нитратами в 2016-2019 гг. содержание ионов аммония невысокое. Увеличение ионов аммония в воде свидетельствует о быстром разложении органики, что приводит к увеличению нитритов. Нитриты в свою очередь неустойчивы и в процессе денитрификации восстанавливаются до нитратов. Главными процессами, направленными на снижение содержания ионов аммония, являются потребление их фотосинтетиками и нитрифицирующими микроорганизмами [9]. ПДК_{р/х} ионов аммония не должно превышать 510 мкг/л [8]. В 1998 и 2008 гг. содержание ионов аммония в водоеме близко к нормам ПДК или превышает их, что связано с внутриводоемными процессами и привносом с водосборной площади в многоводные годы и в период летнего осадковывпадения.

Концентрация ионов аммония может быть использована в качестве индикаторного показателя. Повышение концентраций ионов аммония выше 500 мкг отражает ухудшение санитарного состояния водного объекта, процесса возможного загрязнения поверхностных и подземных вод бытовыми и сельскохозяйственными стоками [4; 6].

Концентрации нитритного и аммонийного азота превышают ПДК_{р/х}, что связано с внутриводоемными процессами (активная вегетация водорослей, потребление фитопланктоном, нитрификация, денитрификация) и привносом с водосборной площади. Содержание нитрит иона находится в пределах нормы за весь исследуемый промежуток времени.

Выявлено, что в многоводные годы (1988, 1996-1998, 2013-2015 гг.) средние значения содержания ионов аммония увеличивались, а нитритов и нитратов снижались.

В маловодные годы (2008-2010, 2016-2020 гг.) концентрация аммония уменьшалась. Концентрации нитритов, нитратов повысились.

Таким образом, выявлено, что годовые изменения форм азота с 1988 по 2020 г. в центральной зоне имели, в основном, сходный характер, что вероятно связано с изменением в внутриводоемных процессах. Изменения находятся примерно в одинаковых пределах колебаний по всем горизонтам в течение исследуемых лет, как и в исследованиях И.Э. Степановой. Интенсивное развитие фитопланктона сопутствует уменьшению содержания нитритов, нитратов, ионов аммония, что приводит к истощению их запаса и как следствие лимитирует развитие водорослей [10].

Список литературы

1. Акимов В. А., Дурнев Р. А., Соколов Ю. И. Защита населения и территорий Российской Федерации в условиях изменения климата. М. : ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2016. 387 с.
2. Вецлер Н. М., Уколова Т. К., Свириденко В. Д. Сравнительная характеристика гидрохимического режима Паратунских озер // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2008. № 10. С. 5-12.
3. ГОСТ 33045–2014 Вода. Методы определения азотсодержащих веществ (с поправками). М. : Стандартинформ, 2016. 20 с.
4. Гусева Т. В., Молчанова Я. П., Заика Е. А. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды. М. : Эколайн, 2000. 88 с.
5. Зенин А. А., Белоусова Н. В. Гидрохимический словарь. Л. : Гидрометеиздат, 1988. 239 с.
6. Крупнова Т. Г. Химия окружающей среды: уч. пособие. Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2011. 59 с.
7. Логинова Е. В., Лопух П. С. Гидроэкология. Минск, 2011. 300 с.
8. Приказ Федерального агентства по рыболовству от 18 января 2010 г. №20 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2070984> (дата обращения: 14.03.2019).
9. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / под ред. А. Д. Семенова. Л. : Гидрометеиздат, 1977. 541 с.
10. Степанова И. Э. История изучения биогенных элементов в Рыбинском водохранилище // Труды Института биологии внутренних вод И.Д. Папанина РАН. 2016. № 75 (78). С. 53-71.
11. Relations between variations in the lake bacterioplankton abundance and the lake trophic state: evidence from the 20-year monitoring / B.V. Adamovich [et al.]. Ecological Indicators. 2019, Vol. 97. pp. 120-129.