

© Е.В. АГБАЛЯН¹, В.Ю. ХОРОШАВИН², Е.В. ШИНКАРУК³

^{1,3}Научный центр изучения Арктики (г. Надым)

²Тюменский государственный университет
agbelena@yandex.ru, purriver@mail.ru

УДК 504.062:502.6

**ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ОЗЕРНЫХ ЭКОСИСТЕМ
ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА
К КИСЛОТНЫМ ВЫПАДЕНИЯМ**

**ASSESSMENT OF SUSTAINABILITY
OF THE LAKE ECOSYSTEMS OF YAMAL-NENETS AUTONOMOUS
DISTRICT TO ACIDIC DEPOSITION**

Оригинальные результаты исследования количественных параметров атмосферных выбросов нефтегазодобывающих и транспортных предприятий Ямало-Ненецкого автономного округа и гидрохимических особенностей озер, не подверженных прямому антропогенному воздействию на химический состав озерных вод, показывают наличие факта закисления озер под влиянием атмосферных выпадений выбросов локальных источников азота и серы. Рассмотрен эффект закисления озер с учетом локального и глобального уровня загрязнения атмосферы, кислотных выпадений и переноса воздушных масс из западных, северо-западных промышленно развитых территорий севера Европы и Европейской территории России. Установлена взаимосвязь индекса интенсивности загрязнения природных сред с закисленностью озер исследуемой территории. На основе данных гидрохимических исследований 11 озер в пределах криолитозоны Западной Сибири оценена кислотонейтрализующая способность местных озерных экосистем, выявлено преобладание низких показателей этого свойства. На основе анализа анионного состава природных поверхностных вод выявлена низкая естественная устойчивость озер к кислотным выпадениям. Это связано с физико-географическими факторами формирования химического состава поверхностных вод в условиях криолитозоны, в частности, с низкой минерализацией вод, преобладанием атмосферного водного питания, мономинеральностью песчаных горных пород, значительной природной закисленностью озерных вод из-за значительной заболоченности водосборов и биохимических особенностей растительности. Установлена повышенная степень загрязнения вод исследованных озер свинцом и зависимость содержания свинца от степени сульфатного закисления озера.

The paper outlines the results of the original study of the quantitative parameters of atmospheric emissions from oil and gas production and transport enterprises of Yamalo-Nenets Autonomous District, as well as of hydrochemical characteristics of

those lakes of the region which are not exposed to direct human impact on the chemical composition of the water in them. The results show the fact of the acidification of lakes due to the effect of the atmospheric deposition of emissions from local sources of nitrogen and sulfur. The effect of acidification of lakes is considered with due regard to local and global air pollution, acid deposition and air-mass transport from the western and north-western industrialized areas of Northern Europe and European Russia. The correlation is found between the index of intensity of natural environment pollution and the level of acidification of the lakes located within the area. The acid-neutralizing capacity of the local lake ecosystems is assessed based on the data of the hydrochemical study of 11 lakes within the permafrost zone of Western Siberia. The predominance of the low values of this property is revealed. The poor natural resistance of lakes to the acid deposition is stated based on the analysis of the anionic composition of natural surface waters. All of this is tied to physico-geographical factors in the formation of chemical composition of surface water in permafrost conditions, in particular to low salinity of waters, the predominance of atmospheric water supply, monomineralic sandy rocks, as well to the high level of natural acidification of lake waters due to heavy waterlogging of catchment and biochemical features of vegetation. The paper reveals the high level of lead contamination of water in the investigated lakes as well as the dependence of the content of lead on the degree of sulfate acidification of lakes.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Озера криолитозоны, кислотные выпадения, закисление водоемов, устойчивость экосистем, Ямало-Ненецкий автономный округ

KEY WORDS. Lakes of permafrost zone, acidic deposition, acidification of water bodies, sustainability of ecosystems, Yamal-Nenets Autonomous District.

Антропогенное закисление водных объектов относится к числу глобальных проблем современности. Процесс закисления влияет на все компоненты водных экосистем, изменяет геохимические циклы элементов, увеличивает концентрацию металлов в водах, переводит металлы в наиболее токсичную ионную форму, приводит к негативным биологическим эффектам [1], [2]. Интенсивность закисления определяется не только уровнем антропогенной нагрузки, но и продолжительностью воздействия, и в значительной степени чувствительностью природной среды. Особенностью арктических экосистем является уязвимость к кислотным нагрузкам.

В Ямало-Ненецком автономном округе (ЯНАО) насчитывается около 59 тыс. озер, большинство из них малые и имеют площадь зеркала менее 1 км², и только у 51 озера площадь превышает 10 км² [3]. Вода озер пресная и ультрапресная, богата гуминовыми кислотами, которые придают ей темную окраску. Практически вся территория автономного округа относится к зоне распространения многолетнемерзлых пород — криолитозоне. Значительная часть озер криолитозоны Западной Сибири, занимающей площадь более 700 тыс. км² [4] имеет термокарстовое происхождение и атмосферное питание.

Озерные экосистемы являются уникальными природными индикаторами уровня техногенного воздействия на окружающую среду. Промышленное освоение территории ЯНАО влечет за собой увеличение объемов поступления загрязняющих веществ в природные среды. При добыче, переработке, хранении и транспортировке природного газа наибольший вред причиняется выбросами в атмосферный воздух. Так, ежегодно валовые выбросы загрязняющих веществ

составляют более 1100 тыс. т., из них 2,13 тыс. т. SO_2 и 72,75 тыс. т. NO_x (плотность выбросов соответственно равна 2,8 кг/м² и 94,6 кг/м² (табл. 1).

Расчеты индикатора интенсивности загрязнения природных сред свидетельствуют о значительной экологической нагрузке на атмосферу (табл. 2) [5]. Индикатор представляет собой удельную величину негативного воздействия на окружающую среду в расчете на единицу конечного результата.

Таблица 1

**Выбросы кислотообразующих веществ
в ЯНАО, ХМАО и Тюменской области**

Показатель	ЯНАО	ХМАО	Тюменская область
Годовые выбросы диоксида серы, т.	2131	5410	1666
<i>Выбросы диоксида серы на душу населения, кг</i>	<i>4,0</i>	<i>3,5</i>	<i>1,2</i>
<i>Выбросы диоксида серы на кг/м²</i>	<i>2,8</i>	<i>10,1</i>	<i>10,4</i>
Годовые выбросы оксидов азота, т.	72753	127362	17055
<i>Выбросы оксида азота на душу населения, кг</i>	<i>135,5</i>	<i>81,6</i>	<i>12,5</i>
<i>Выбросы оксида азота кг/м²</i>	<i>94,6</i>	<i>238,1</i>	<i>106,6</i>

Таблица 2

**Интенсивность загрязнения природных сред
в ЯНАО, ХМАО и Тюменской области**

Индикатор	ЯНАО	ХМАО	Тюменская область
Экоинтенсивность, тонн/млрд руб.	1123,8	1213,9	378,2
Интенсивность загрязнения атмосферы, тонн/млрд руб.	1081,0	1190,7	194,7
Интенсивность загрязнения природных вод, тонн/млрд. руб.	42,8	23,3	183,5

Кроме локального уровня воздействия, существует и глобальный фон кислотных выпадений, связанный с переносом воздушных масс со стороны Скандинавского и Кольского полуостровов. Известны гипотезы переноса кислотообразующих веществ с территории Китая и других стран интенсивно развивающегося юго-востока Азии [6], [7], [8], [9].

Исследование гидрохимических особенностей вод озер, непосредственно не подверженных влиянию сточных вод, позволяет получить данные о влиянии глобальных и локальных процессов переноса веществ, приводящих к закислению. Малые озера на территории ЯНАО в аспекте закисления изучены недостаточно, поэтому целью работы является изучение степени влияния антропогенной нагрузки на поверхностные воды ЯНАО с использованием критериев оценки закисления озерных экосистем.

Объекты и методы исследования. В 2013 гг. проведено гидрохимическое обследование 11 озер Надым-Пурского междуречья в пределах ЯНАО по широкому кругу показателей. Обследованные озера располагаются в лесотундровой и таежной зонах Западно-Сибирской равнины на моренных и водноледниковых равнинах, рельеф которых связан с четвертичным оледенением. Выбор озер для отбора проб и проведения исследования был основан на трех факторах: отсутствие прямого антропогенного влияния на водосбор, естественное происхождение водоема, расположение озера на водораздельных поверхностях.

Время отбора проб воды — август-октябрь, для озер севера Сибири это период близкий к состоянию гомотермии. Отбор проб проводился с учетом требований ГОСТ Р 51592-2000 «Вода. Общие требования к отбору проб». Отбор проб осуществлялся с глубины 0,3-0,5 м в объеме 5 л в полиэтиленовые бутылки для анализа ионного состава, в том числе контроля веществ, вызывающих закисление водных объектов.

Химико-аналитические работы проводились в стационарной лаборатории качества вод, устойчивости водных экосистем и экотоксикологии и в лаборатории экологических исследований Тюменского государственного университета, имеющей сертификат Федеральной службы по аккредитации. В пробах определялись: рН и щелочность — потенциометрическим методом, удельная электропроводность — кондуктометрическим методом, цветность — методом фотометрии, сумма нитрат- и нитрит-ионов, общий азот, фосфат-ионы, фосфор общий, кремний — спектрофотометрическое определение, перманганатная окисляемость и бихроматная окисляемость — титриметрическим методом, определение общего органического углерода (Vario TOC, Elementar, Германия), сульфат-ионы и хлорид-ионы — ион-хроматографическое определение (ICS-5000, Dionex, США). Концентрации тяжелых металлов определялись атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизацией и пламенной атомизацией.

Результаты и их обсуждение. Атмосферное питание озер, обедненные микроэлементами мерзлотные почвы, мономинеральные кварцевые горные породы, слагающие водосборы территории, приводят к формированию специфического химического состава вод региона. Результаты химико-аналитических работ показали, что вода озер имеет низкую минерализацию (табл. 3, 4), в ней присутствует значительное количество органических веществ. Показатель растворенного органического углерода варьирует от 6,31 мгС/л до 24,05 мгС/л. В естественных условиях содержание хлоридов и сульфатов в поверхностных озерных водах низкое и составляет $0,33 \pm 0,17$ мг/л и $1,16 \pm 1,55$ мг/л соответственно.

Сравнительная характеристика гидрохимических показателей озерных вод Ямальского региона и европейской территории России (ЕТР) [10] позволяет выделить значимые различия по содержанию главных анионов и катионов в поверхностных водах, рН, общего органического углерода и сопоставить устойчивость малых озер ЕТР и севера Западной Сибири к кислотным выпадениям.

Таблица 3

**Физические и гидрохимические показатели озерных экосистем ЯНАО
(Надымский и Пуровский районы)**

район	Водные объекты	pH	Удельная электропроводность (мкСм/см)	ТОС (мгС/л)	SO ₄ ²⁻ (мг/л)	Cl ⁻ (мг/л)	Alk (мкг-экв./л)
Пуровский	Озеро № 1	5,66	11,1	7,39	1,80	0,79	200,0
	Озеро № 2	6,28	12,7	9,41	0,39	0,44	40,0
	Озеро № 3	5,99	12,8	9,14	0,43	0,09	70,0
	Озеро № 4	6,08	10,1	9,94	6,11	0,27	50,0
	Озеро № 5	6,40	17,0	6,31	0,16	0,40	140,0
	Озеро № 6	6,30	15,0	7,49	0,30	0,43	130,0
	Озеро № 7	5,31	12,0	17,33	1,01	0,23	20,0
	Озеро № 8	4,90	10,7	15,32	0,77	0,22	10,0
	Озеро № 9	5,36	7,3	11,39	0,43	0,15	30,0
Надымский	Озеро № 10	5,70	16,5	19,78	0,57	0,29	30,0
	Озеро № 11	4,90	13,4	24,05	0,78	0,30	30,0
M±σ		5,72±0,50 4,90-6,40	12,60±2,61 7,3-17,0	12,50±5,29 6,31-24,05	1,16±1,55 0,16-6,11	0,33±0,17 0,09-0,79	68,18±55,95 10,0-200,0
M±σ (для северной тайги ЕТР)		6,65±0,73 4,15-7,51	29,5±14,4 7,9-96,7	7,41±3,86 1,61-24,3	2,54±1,01 0,64-6,44	1,36±0,98 0,24-6,0	175±135 0-694

Примечание: в числителе — среднее значение и среднеквадратичное отклонение, в знаменателе — пределы содержания, данные для северной тайги ЕТР (по [10]).

Признаками антропогенного закисления природных вод являются низкие уровни pH и высокие значения SO₄²⁻ и Al³⁺. Низкие значения показателей pH арктических вод могут определяться также высоким содержанием природных гумусовых кислот. Известно, что при значениях pH<6,5 уменьшается видовое разнообразие водных организмов, при pH=5,6 могут возникать необратимые последствия для водных экосистем [11].

**Элементный состав озерных вод ЯНАО
(Надымский и Пуровский районы)**

район	Водные объекты	Ca ⁺² (мг/л)	Mg ⁺² (мг/л)	Na ⁺ (мг/л)	K ⁺ (мг/л)	Al ⁺³ (мкг/л)	Pb (мкг/л)
Пуровский	Озеро № 1	1,04	0,18	0,34	0,17	10,6	3,4
	Озеро № 2	1,45	0,31	0,55	0,13	32,1	0,63
	Озеро № 3	1,11	0,46	0,16	0,17	22,5	2,1
	Озеро № 4	0,84	0,40	0,42	0,17	26,9	2,6
	Озеро № 5	1,54	0,47	0,96	0,21	13,6	1,9
	Озеро № 6	4,16	0,41	0,59	0,15	17,1	2,3
	Озеро № 7	4,78	0,24	0,23	0,09	78,4	2,7
	Озеро № 8	1,31	0,12	0,15	0,08	61,8	2,3
	Озеро № 9	5,00	0,27	0,24	0,08	38,9	2,7
Надымский	Озеро № 10	6,78	0,82	0,35	0,13	11,2	1,4
	Озеро № 11	4,03	0,26	0,18	0,025	26,9	1,9
M±σ		2,91±1,89 0,84-6,78	0,36±0,17 0,12-0,82	0,41±0,26 0,15-0,96	0,13±0,05 0,025-0,21	30,91±19,73 10,6-78,4	2,18±0,67 0,63-3,4
M±σ (для северной тайги ЕТР)*		2,24±1,23 0,18-5,85	0,83±0,50 0,07-3,40	2,18±1,61 0,42-22,1	0,61±0,48 0,08-2,50	14,9±14,0 0,8-82,6	< 0,5
Кларк речной воды** (мкг/л)		12,0	2,9	5,0	2,0	160,0	1,0

*Примечание. В числителе — среднее значение и среднеквадратичное отклонение, в знаменателе — пределы содержания; * — данные для северной тайги ЕТР (по [10]); ** — кларк речной воды (по [12]).*

Каждое пятое из исследованных озер имело рН<5 и каждое второе рН<6, при вариации от 4,9 до 6,8. Наиболее низкие значения рН показаны на озере № 8 Пуровского района и № 11 Надымского района (рис. 1). Воды озер имеют высокую цветность от 28,9 до 198° Pt. Доля озер с рН менее 6 и цветностью менее 100° Pt составляет 45,5%. Доминирующее положение сульфатов в анионном составе поверхностных вод выявлено для озер № 1, 4, 8, 9, 10, 11 (рис. 2).



Рис. 1. Показатели pH озерных вод Надым-Пурского междуречья

Значения показателей KNS, представляющих собой отношения концентраций нитратов к сумме анионов (сульфатов и нитратов) и рассчитанных для каждого озера, близки к 0. Для озер № 2, № 5 и № 6 доля вклада нитратов в анионный состав воды выше, чем сульфатов.

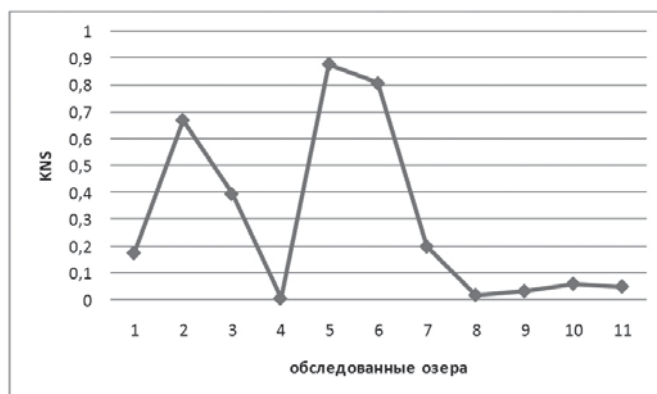


Рис. 2. Оценка вклада сульфатов и нитратов в закисление озерных вод

Кислотонейтрализующая способность (ANS) оценивалась по разнице между суммой катионов с коррекцией на морскую соль и радикалами сильных кислот (рис. 3). Исследования, проведенные на Кольском Севере, в Америке, Финляндии [1], [13], [14], показали, что кислотонейтрализующая способность вод не должна быть менее 50 мкг-экв./л. Обследованные озера имели кислотообразующую способность, начиная от отрицательных значений — 31 мкг-экв./л до положительных 300,7 мкг-экв./л. 18,2 % обследованных озер имели показатель ANS ниже критического уровня и сумму катионов ниже среднего значения по территории, с превышением уровня среднерегionalных концентраций сульфатов. 45,5% озер характеризовалась значениями ANS в пределах 200-300 мкг-экв./л. Отрицательное значение данного показателя указывает на отсутствие потенциала озерных вод к нейтрализации кислотных выпадений и начавшийся процесс прогрессирующего закисления.

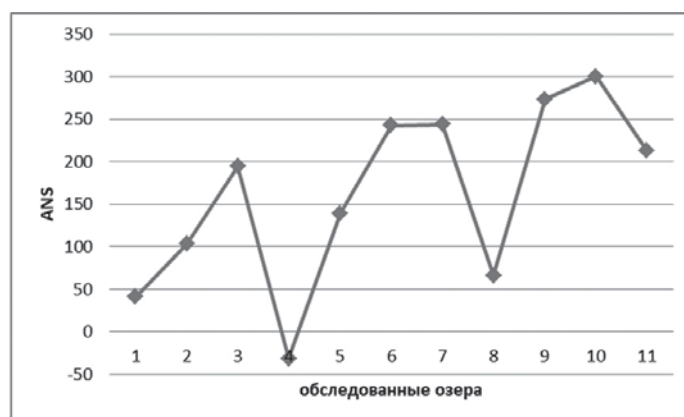


Рис. 3. Показатели кислотнейтрализующей способности (ANS) озерных вод Надым-Пурского междуречья

В обследованных озерах выявлено высокое содержание свинца (табл. 4). Известно, что в закисленных водах увеличивается содержание многих металлов. В нашем исследовании зависимости концентрации свинца от pH воды выявлено не было ($r = -0,296$, $p > 0,05$). Однако получены корреляции уровня свинца в воде и концентрации сульфатов ($r = 0,348$, $p < 0,05$). Все обследованные озера загрязнены антропогенным свинцом, что может свидетельствовать о значительной фоновой техногенной нагрузке. Исследованные озера и их водосборы не испытывают прямого антропогенного воздействия, но они окружены лицензионными участками по разработке недр, которые являются источником различного рода косвенного загрязнения. В районе исследованных озер существует сеть автодорог, выбросы автотранспорта также могут являться источниками свинца.

Таким образом, трансграничные переносы и локальные загрязнения приводят к закислению поверхностных вод малых озер и накоплению тяжелых металлов в водных экосистемах.

Выводы. Одномоментная оценка качества вод малых озер Надым-Пурского междуречья по гидрохимическим показателям показывает, что химический состав вод малых озер лесотундры и северной тайги ЯНАО характеризуется низкой минерализацией, специфичной ионной композицией, дефицитом биогенных элементов. Основным фактором таких гидрохимических особенностей являются физико-географические особенности территории.

Антропогенный фактор играет важную роль в формировании химического состава вод наряду с климатическими и ландшафтными особенностями водосборов.

18% обследованных малых озер Надым-Пурского междуречья имеют признаки антропогенного закисления вод, выражающиеся в низких значениях pH и цветности при преобладании сульфатов в анионном составе.

Глобальный и локальный атмосферный переносы приводят к закислению вод озерных экосистем и обогащению их тяжелыми металлами. Во всех обследованных озерах выявлены повышенные концентрации свинца, представляющие высокую экологическую опасность для окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моисеенко Т.И. Закисление вод: факторы, механизмы и экологические последствия. М.: Наука, 2003. 278 с.
2. Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А. Распределение микроэлементов в поверхностных водах суши и особенности их водной миграции // Водные ресурсы. 2007. Т. 34. № 4. С. 454-468.
3. Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа / Под ред. С.И. Ларина. Омск: Омская картографическая фабрика, 2004. 303 с.
4. Геокриология СССР. Западная Сибирь / Под ред. Э.Д. Ершова. М.: Недра, 1989. 454 с.
5. Агбалян Е.В., Касацкая Н.В., Шинкарук Е.В. Распределение экологической нагрузки между ЯНАО, ХМАО и Тюменской областью // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2012. №4(77). С. 8-11.
6. Моисеенко Т.И., Калабин Г.В., Хорошавин В.Ю. Закисление водосборов арктических регионов // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2012. № 2. С. 49-58.
7. Калабин Г.В., Моисеенко Т.И. Эмиссия, перенос и выпадение кислотных осадков в арктических регионах // Известия РАН. Серия географическая. 2011. № 5. С. 50-61.
8. AMAP Assessment 2006: Acidifying Pollutants, Arctic Haze and Acidification in Arctic. Oslo: Published by Arctic monitoring Programme (AMAP). 112 p.
9. Galloway, J.N. Acid deposition: perspectives in time and space // Water, Air and Soil Pollut. 1995. V. 85. Pp. 15-24.
10. Гашкина Н.А. Пространственно-временная изменчивость химического состава вод малых озер в современных условиях изменения окружающей среды: дисс. ... д-ра геогр. наук: Москва, 2014. 207 с.
11. Лозовик П.А. Гидрогеохимические критерии состояния поверхностных вод гумидной зоны и их устойчивости к антропогенному воздействию: дис... д-ра хим. наук: Петрозаводск, 2006. 481 с.
12. Войткевич Г.В., Кокин А.В., Мирошников А.Е., Прохоров В.Г. Справочник по геохимии. М.: Недра, 1990. 480 с.
13. Brakke, D.F., Landers, D.H. Chemical and physical characteristics of lakes in the Northeastern United States // Environ. Sci. Technol. 1988. V. 22. Pp. 155-163.
14. Nenonen, M. Report on acidification in the arctic countries: Man-made Acidification in a World of Natural Extremes. — The State of the Arctic Environment. Rovaniemi, Finland. 1991. Pp. 7-81.

REFERENCES

1. Moiseenko, T.I. *Zakislenie vod: faktory, mekhanizmy i ekologicheskie posledstviia* [Acidification of Water: Factors, Mechanisms and Ecological Effect]. Moscow: Nauka, 2003. 278 p. (in Russian).
2. Moiseenko, T.I., Gashkina, N.A. Distribution of trace elements in surface waters and features of their water migration. *Vodnye resursy — Water Resources*. 2007. Vol. 34. № 4. Pp. 454-468. (in Russian).
3. *Atlas Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga* [Atlas of Yamalo-Nenets Autonomous District] / Ed. S.I. Larin. Omsk, 2004. 303 p. (in Russian).
4. *Geokriologiya SSSR. Zapadnaia Sibir'* [Geocryology of USSR. Western Siberia] / Ed. E.D. Ershov. Moscow: Nedra, 1989. 454 p. (in Russian).
5. Agbalian, E.V., Kasatskaia, N.V., Shinkaruk, E.V. Distribution of ecological load between Yamalo-Nenets Autonomous District, Khanty-Mansiyski Autonomous District and Tyumen region. *Nauchnyi vestnik Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga — Scientific Bulletin of Yamalo-Nenets Autonomous District*. 2012. № 4(77). Pp. 8-11. (in Russian).

6. Moiseenko, T.I., Kalabin, G.V., Khoroshavin, V.Iu. Zakislenie vodosborov arkticheskikh regionov. *Izvestiia Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya — Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Series "Geography"*. 2012. № 2. Pp. 49-58. (in Russian).

7. Kalabin, G.V., Moiseenko, T.I. Acid emission, migration and rain in the Arctic regions. *Izvestiia Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya — Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Series "Geography"*. 2011. № 5. Pp. 50-61. (in Russian).

8. *AMAP Assessment 2006: Acidifying Pollutants, Arctic Haze and Acidification in Arctic*. Oslo. 112 p.

9. Galloway, J.N. Acid deposition: perspectives in time and space. *Water, Air and Soil Pollution*. 1995. Vol. 85. Pp. 15-24.

10. Gashkina, N.A. *Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' khimicheskogo sostava vod malykh ozer v sovremennykh usloviakh izmeneniia okruzhaiushchei sredy* (dokt. diss.) [Spatial and Temporal Variation of the Chemical Composition of the Waters of Small Lakes in the Modern Conditions of Environmental Change (Dr. Sci. (Geogr.) Diss.)]. Moscow, 2014. 207 p. (in Russian).

11. Lozovik, P.A. *Gidrogeokhimicheskie kriterii sostoianiia poverkhnostnykh vod gumidnoi zony i ikh ustoychivosti k antropogennomu vozdeistviyu* (dokt. diss.) [Hydrogeochemical Criteria to Evaluate Condition of the Surface Water of Humid Zone and Its Resistance to Anthropogenic Factor (Dr. Sci. (Chem.) Diss.)]. Petrozavodsk, 2006. 481 p. (in Russian).

12. Voitkevich, G.V., Kokin, A.V., Miroshnikov, A.E., Prokhorov, V.G. *Spravochnik po geokhimii* [A Handbook of Geochemistry]. Moscow: Nedra, 1990. 480 p. (in Russian).

13. Brakke, D.F., Landers, D.H. Chemical and physical characteristics of lakes in the Northeastern United States. *Environ. Sci. Technol.* 1988. Vol. 22. Pp. 155-163.

14. Nenonen, M. Report on acidification in the arctic countries: Man-made Acidification in a World of Natural Extreme. *The State of the Arctic Environment*. Rovaniemi, 1991. Pp. 7-81.

Автор публикации

Агбалин Елена Васильевна — заведующая сектором экологических исследований ГКУ Ямало-Ненецкого автономного округа «Научный центр изучения Арктики» (г. Надым), доктор биологических наук

Хорошавин Виталий Юрьевич — директор Института наук о Земле, старший научный сотрудник лаборатории качества вод, устойчивости водных экосистем и эко-токсикологии Тюменского государственного университета, кандидат географических наук, доцент

Шинкарук Елена Владимировна — младший научный сотрудник сектора экологических исследований ГКУ Ямало-Ненецкого автономного округа «Научный центр изучения Арктики» (г. Надым)

Authors of the publication

Elena V. Agbalyan — Dr. Sci. (Biol.), Head of Environmental Research Sector "Scientific Center of Arctic Research" in Yamalo-Nenets Autonomous District (Nadym)

Vitaly Yu. Khoroshavin — Cand. Sci. (Geogr.), Associate Professor, Head of Educational Institute of Geoscience, Senior Researcher of Laboratory of Water Quality, Tyumen State University

Elena V. Shinkaruk — Junior researcher Environmental Research Sector "Scientific Center of Arctic Research" in Yamalo-Nenets Autonomous District (Nadym)