

Татьяна Анатольевна КРЕМЛЕВА<sup>1</sup>  
Анастасия Александровна ЮЖАНИНА<sup>2</sup>  
Александр Сергеевич ПЕЧКИН<sup>3</sup>  
Елена Васильевна АГБАЛЯН<sup>4</sup>

УДК: 556.047

### ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ И ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА МАЛЫХ ОЗЕР НАДЫМСКОГО РАЙОНА

<sup>1</sup> доктор химических наук, профессор кафедры органической и экологической химии, Тюменский государственный университет  
t.a.kremleva@utmn.ru

<sup>2</sup> магистрант, Институт химии, Тюменский государственный университет  
yuzhanina\_nastena95@mail.ru

<sup>3</sup> младший научный сотрудник, Научный центр изучения Арктики (г. Надым)  
a.pechkin.ncia@gmail.com

<sup>4</sup> доктор биологических наук, главный научный сотрудник, заведующий сектором, Научный центр изучения Арктики (г. Надым)  
agbelena@yandex.ru

#### Аннотация

В работе приведены результаты оригинальных исследований, проведенных совместно сотрудниками Научного центра изучения Арктики (г. Надым) и Тюменского государственного университета, направленных на изучение природных и техногенных факторов, определяющих химический состав вод малых озер арктической зоны. В работе представлены интегральные характеристики вод, данные по ионному составу, по содержанию тяжелых металлов. На основании данных по содержанию тяжелых металлов, БПК<sub>5</sub> рассчитан индекс загрязненности вод (ИЗВ). Старичные и термокар-

---

**Цитирование:** Кремлева Т. А. Экологическое состояние и основные факторы формирования химического состава малых озер Надымского района / Т. А. Кремлева, А. А. Южанина, А. С. Печкин, Е. В. Агбалян // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2018. Том 4. № 4. С. 33-50.  
DOI: 10.21684/2411-7927-2018-4-4-33-50

---

стовые озера, имея самые низкие значения ИЗВ (1,0-3,1), являются самыми чистыми и соответствуют III и IV классу качества вод. Озера болотного типа — самые грязные (IV-VII класс). Для выявления корреляций между основными показателями состава вод и обнаружения связи с генезисом озер использован факторный анализ методом главных компонент с помощью программы Statistica 10. По результатам факторного анализа установлено, что определяющее влияние на состав вод, помимо типа озер, оказывает содержание в них растворенного органического вещества. Первый, самый значимый, фактор объединил содержание в воде органического углерода и следующие металлы: свинец, марганец, кадмий, железо и медь. Не вошли в эту группу цинк и никель. Второй фактор, имеющий чуть меньшую значимость, объединяет между собой главные ионы, третий — различные формы азота. На основании представленных данных сделан вывод о том, что химический состав вод формируется преимущественно под воздействием природных факторов. Важный вклад в этот процесс также вносят органические вещества, способствующие обогащению водной среды ионами металлов.

#### **Ключевые слова**

Гидрохимия, арктические малые озера, состав вод, оценка экологического состояния, факторы формирования водной среды.

**DOI: 10.21684/2411-7927-2018-4-4-33-50**

#### **Введение**

В настоящее время особое внимание уделяется экологическим проблемам водных экосистем арктических регионов, что связано как с транспортным значением, так и с ресурсным потенциалом Севера и Арктики, где сосредоточены богатейшие запасы природных полезных ископаемых, освоение которых является одним из приоритетных направлений развития экономики России. Активное использование водных ресурсов приводит к изменению их качественного состава [4, 13, 15], что характерно в том числе и для Надымского района, который входит в состав Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО). В исследуемом районе насчитывается около 45 тыс. озер. Большую часть составляют малые озера с площадью водной поверхности не более 10 км<sup>2</sup>. Особое внимание ученых с точки зрения биогеохимических исследований привлекают озерно-болотные экосистемы, т. к. они являются уникальными природными индикаторами климатических изменений, способны быстро реагировать на любое воздействие извне (природное или техногенное) [2].

В связи с этим целью данной работы стало определение влияния различных факторов на формирование химического состава вод малых озер Надымского района, оценка их экологического состояния. Работа выполнена в рамках сотрудничества Тюменского государственного университета с Научным центром изучения Арктики.

**Объекты и методы исследования**

Объектами исследований стали малые озера Надымского района, площадь водного зеркала которых не более 10 км<sup>2</sup>. Химический состав вод малых озер является хорошим индикатором протекающих в окружающей среде процессов, позволяет оценивать влияние как природных, так и антропогенных факторов, определяющих экологическую обстановку на той или иной территории. Пробы воды отобраны сотрудниками Научного центра изучения Арктики, доставлены в лабораторию Тюменского государственного университета. Отбор проб воды осуществляли с учетом требований ГОСТ Р 51592-2000 «Вода. Общие требования к отбору проб» с глубины 0,3-0,5 м от поверхности. Для проведения работы из всех водоемов, расположенных вблизи г. Надыма и имеющих разную степень антропогенной нагрузки, выбраны озера различного происхождения: болотные, термокарстовые, старичные и озера-карьеры, оставшиеся после извлечения песка. Всего 12 озер, по три озера каждого типа. Такой выбор позволяет провести сравнение влияния природных факторов и техногенного воздействия на состав вод. Координаты мест отбора проб приведены в таблице 1. Время отбора проб — сентябрь 2016 г. Осенью в малых водоемах наступает режим гомотермии, когда верхние и нижние слои имеют примерно одинаковую температуру и состав, что позволяет получать информацию о химическом составе всей воды путем отбора проб с поверхности.

Приведенная в таблице нумерация проб использована далее при проведении сравнительного анализа состава вод. Определение химического состава выполнено на базе центра коллективного пользования «Рациональное природопользование и физико-химические исследования» Института химии ТюмГУ и в лаборатории экологических исследований ТюмГУ (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.511630 от 06.11.2014 г.).

Аналитическая программа включала в себя определение следующих показателей:

- 1) водородный показатель pH — методом прямой потенциометрии, лабораторный pH-метр «АНИОН 4100»;
- 2) удельная электропроводность (УЭП) при 20 °С — кондуктометрия, лабораторный pH-метр «АНИОН 4100»;
- 3) цветность воды (Цв.) и перманганатная окисляемость (ПО) — спектрофотометрия, спектрофотометр UNICO 1201;
- 4) содержание органических и минеральных форм углерода ( $C_{\text{орг}}$  и  $C_{\text{мин}}$ ) методом элементного анализа с использованием прибора vario TOC cube фирмы Elementar;
- 5) содержание главных ионов:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$  — капиллярный электрофорез с помощью системы капиллярного электрофореза «Капель-105»;
- 6)  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  — ионообменная хроматография с использованием ионного хроматографа Dionex ICS 2100;
- 7) щелочность (гидрокарбонаты и карбонаты) — метод потенциометрического титрования, лабораторный pH-метр «АНИОН 4100»;

8) микроэлементы ( $Fe_{\text{общ}}$ , Mn, Cr, Cu, Ni, Zn, Pb и др.) — атомно-абсорбционная спектроскопия с электротермической атомизацией, спектрофотометр ContrAA 700.

Определение химического состава вод и обработка результатов осуществлялись по стандартным методикам при постоянном внутрिलाбораторном контроле.

Таблица 1

Данные по отбору проб

Table 1

Sampling data

№ пробы	Температура воды при отборе проб, °С	Координаты, град. с. ш.	Координаты, град. в. д.
<b>Болотные</b>			
1	13,8	65°34'	73°04'
2	14,3	65°35'	73°04'
3	15,3	65°35'	72°54'
<b>Термокарстовые</b>			
4	15,0	65°34'	73°04'
5	16,6	65°34'	72°57'
6	17,0	65°35'	72°57'
<b>Старичные</b>			
7	13,7	65°31'	72°39'
8	14,5	65°31'	72°37'
9	16,7	65°31'	72°34'
<b>Карьерные</b>			
10	15,8	65°36'	72°43'
11	15,7	65°32'	72°30'
12	15,6	65°32'	72°30'

### Результаты работы и их обсуждение

Необходимость освоения ресурсов Арктики обуславливает неизбежное вмешательство человека в протекание природных процессов, что приводит к поступлению в окружающую среду новых веществ, способствующих постепенному изменению геохимического фона. Химический состав вод малых озер способен быстро реагировать на внешние воздействия, поэтому является весьма чувствительным индикатором любых изменений: климатических, техногенных, природных. Определение качества пресной воды необходимо для текущего экологического мониторинга, оценки состояния водных объектов и возможного воздействия на здоровье людей [16]. Озерно-болотные водные системы Западной

Сибири, являясь уникальными природными индикаторами климатических изменений, весьма чувствительны к изменениям климата, т. к. имеют пограничное расположение в пределах криолитозоны [5, 10].

Химический состав водной среды определяется его генезисом и зависит от таких слагаемых, как водосбор и породы озерного ложа, питание, климат, а также от ряда других факторов. Макрокомпонентный состав, являющийся одной из основных характеристик вод, формируется в основном под воздействием природных факторов. Главные ионы (макрокомпоненты) определяют химический тип вод. Микрокомпоненты содержатся в гораздо меньших количествах, но необходимы для нормальной жизнедеятельности растений, животных, человека. К суммарным характеристикам относятся: рН, УЭП, цветность, ПО, различные формы углерода. Результаты определения этих показателей, а также медианные значения представлены в виде гистограмм на рис. 1 и 2.

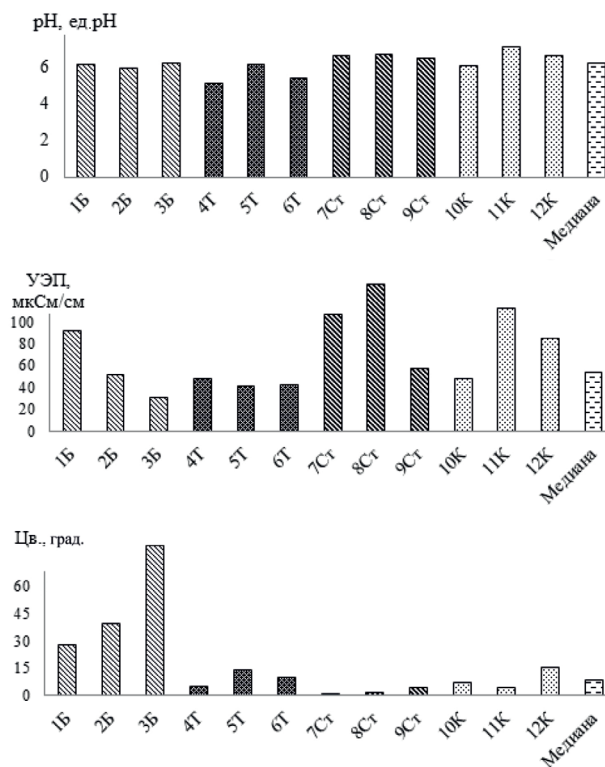


Рис. 1. Значение рН, УЭП и цветности вод малых озер Надымского района; тип озер: Б — болотные, Т — термокарстовые, Ст — старичные, К — карьерные

Fig. 1. The pH value, electrical conductivity, and water color of the small lakes of the Nadym Region; type of lakes: Б — swamp, Т — thermokarst lakes, Ст — oxbow river, К — quarry

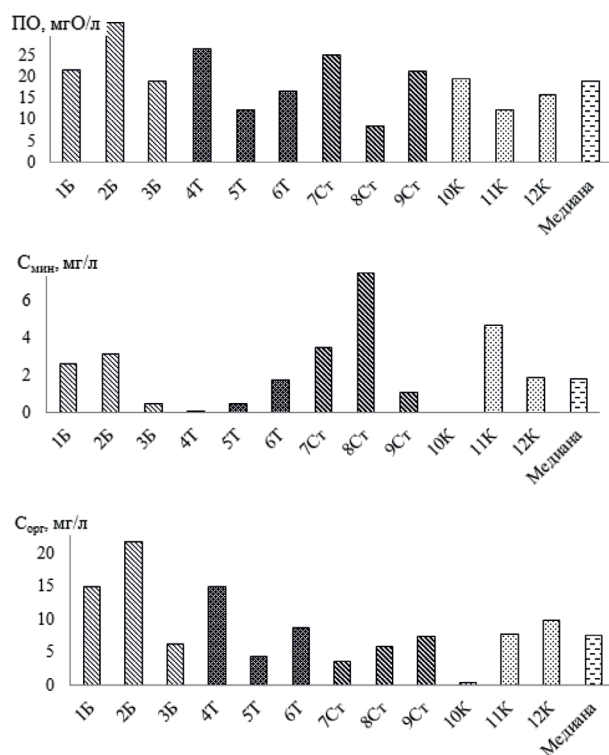


Рис. 2. Значение перманганатной окисляемости, содержания минеральных и органических форм углерода в водах малых озер Надымского района; тип озер: Б — болотные, Т — термокарстовые, Ст — старичные, К — карьерные

Fig. 2. The value of permanganate oxidizability, the content of mineral and organic forms of carbon in the waters of the small lakes of the Nadym region; type of lakes: Б — swamp, Т — thermokarst lakes, Ст — oxbow river, К — quarry

Согласно полученным данным, воды исследуемых озер либо слабокислые ( $\text{pH} = 5,0-6,5$  ед.  $\text{pH}$ ), либо близкие к нейтральным ( $\text{pH} = 6,5-7,5$  ед.  $\text{pH}$ ). Вода термокарстовых озер — самая кислая. Воды старичных и карьерных озер имеют значение  $\text{pH}$  больше значения медианы и близки к нейтральным. Озера болотного типа занимают промежуточное положение, значения их водородного показателя близки к медиане.

Наибольшее значение удельной электропроводности имеют озера старичного типа (107; 135; 57,6 мкСм/см), максимальное превышение значения медианы — почти в 2,5 раза, затем карьерные, болотные и термокарстовые (48,1; 41,8; 42,5 мкСм/см). Воды всех озер имеют невысокую минерализацию. Вполне закономерно, что болотные озера имеют самое большое значение цветности, перманганатной окисляемости и содержания растворенных форм органического углерода. Заболоченный водосбор обеспечивает поступление

высокоцветных, обогащенных гумусовыми веществами вод, преимущественно аллохтонной природы. Цветность вод и содержание растворенных форм органического углерода имеют тесную взаимосвязь. На рис. 3 представлена корреляция цветности вод и содержания органического углерода ( $C_{\text{орг}}$ ).

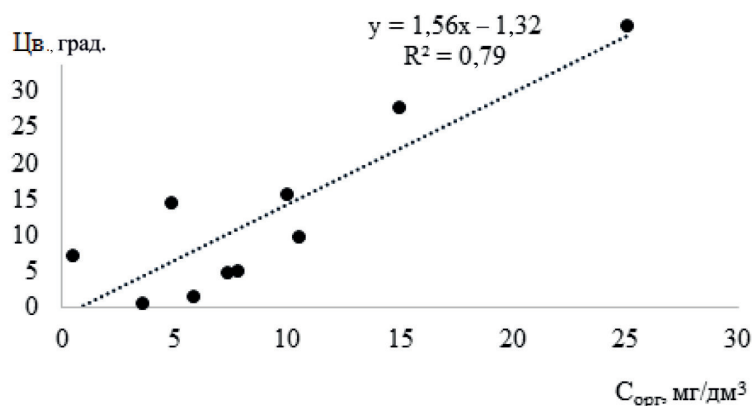


Рис. 3. Корреляция цветности вод и содержания органического углерода ( $C_{\text{орг}}$ )

Fig. 3. Correlation of water color and the content of dissolved organic carbon ( $C_{\text{орг}}$ )

Воды озер термокарстового типа являются самыми кислыми относительно других, для них характерно наименьшее значение УЭП. Воды старичных озер — наименее цветные, имеют самую высокую удельную электропроводность. Химический состав вод карьерного типа по всем интегральным характеристикам занимает промежуточное положение. Только значение ПО в них минимально, что вполне закономерно для водоемов с песчаными донными отложениями (озера сформировались на месте бывших карьеров по добыче песка).

Для озер Надымского района характерна невысокая степень минерализации вод. Общую минерализацию ( $M$ ) оценивали как сумму массовых концентраций главных ионов ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ). В таблице 2 представлены результаты определения ионного состава.

На основании полученных данных по ионному составу и минерализации оценивали тип вод. Воды болотных озер — ультрапресные, гидрокарбонатно-кальциевые, слабокислые, очень мягкие; в одном озере зафиксировано повышенное содержание гумусовых кислот и аммония, что вполне характерно для озер этого типа. Воды термокарстовых озер — ультрапресные, гидрокарбонатно-кальциевые, слабокислые, очень мягкие; отмечено повышенное содержание марганца в озере 4, близкого по концентрации к содержанию главных ионов, что мало характерно для природных вод. Однако для термокарстовых озер субарктики Западной Сибири подобный факт отмечен рядом авторов в работах [3, 8, 9]. Воды старичных и карьерных озер — ультрапресные, гидрокарбонатно-кальциевые, слабокислые или близкие к нейтральным, очень мягкие.

Таблица 2

Table 2

Содержание главных ионов, мг/дм<sup>3</sup>Concentration of main ions, mg/dm<sup>3</sup>

№ пробы	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
<b>Болотные озера</b>									
1	< 0,5	0,93	2,03	0,88	4,43	0,31	< 1,60	< 1,00	1,24
2	1,69	< 0,5	0,95	0,40	1,64	1,11	< 1,60	< 1,00	1,95
3	< 0,5	1,3	0,79	0,43	0,79	0,83	< 1,60	< 1,00	4,54
<b>Термокарстовые озера</b>									
4	< 0,5	< 0,5	1,02	0,51	1,67	0,31	< 1,60	< 1,00	1,24
5	0,75	1,68	< 0,5	< 0,25	0,76	1,11	< 1,60	< 1,00	1,95
6	0,61	1,42	0,73	0,53	1,48	0,83	< 1,60	< 1,00	4,54
<b>Старичные озера</b>									
7	< 0,5	1,84	5,05	2,82	7,69	4,13	< 1,60	< 1,00	44,8
8	< 0,5	1,06	2,11	1,86	5,18	1,26	< 1,60	< 1,00	7,57
9	< 0,5	0,84	1,63	0,95	4,38	0,41	< 1,60	< 1,00	33,8
<b>Карьерные озера</b>									
10	< 0,5	2,08	0,69	< 0,25	0,78	0,91	< 1,60	1,09	4,3
11	0,64	2,53	2,03	1,25	< 0,5	1,89	< 1,60	2,56	4,69
12	< 0,5	2,28	4,26	1,68	6,65	1,61	2,18	3,07	27,9

Для оценки индекса загрязненности вод и формирования более полного представления о химическом составе вод малых озер Надымского района определили содержание некоторых микроэлементов (метод атомно-абсорбционного анализа с электротермической атомизацией). Были выявлены следующие металлы: Fe, Mn, Pb, Cd, Cu, Ni, Zn. Результаты представлены в таблице 3.



Таблица 3

Содержание ионов металлов в озерах различного типа

Table 3

Concentration of metal ions in lakes of various types

№ озера	Fe <sub>общ</sub>	Mn	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn
	мг/л	мкг/л					
<b>Болотные озера</b>							
1	0,48	0,10	9,62	1,72	7,00	0,10	0,027
2	6,46	16,8	21,5	2,39	7,62	0,11	0,172
3	0,29	0,11	5,99	0,62	4,36	0,11	0,157
<b>Термокарстовые озера</b>							
4	0,26	12,7	14,3	3,02	4,70	0,11	0,211
5	< 0,1	2,67	4,37	0,71	5,47	0,11	0,001
6	0,97	5,68	7,47	0,52	4,80	0,11	0,564
<b>Старичные озера</b>							
7	< 0,1	0,11	5,32	0,82	3,82	0,11	0,024
8	0,08	0,11	5,39	0,01	2,85	0,11	0,001
9	0,12	5,07	5,97	0,54	4,89	22,3	0,288
<b>Карьерные озера</b>							
10	< 0,1	0,11	3,63	0,01	2,66	0,11	0,032
11	< 0,1	0,11	4,81	0,53	4,08	9,05	0,001
12	1,03	1,52	7,62	0,01	7,54	0,11	0,300
<b>Медиана по всем озерам</b>							
б/н	0,19	0,82	5,98	0,58	4,75	0,11	0,095

Согласно полученным данным, самое высокое содержание железа зафиксировано в болотных озерах, максимальное превышение значения медианы — почти в 35 раз. Это можно объяснить высоким содержанием органического вещества, высокой цветностью данной пробы и низким значением рН. Воды старичных и карьерных озер содержат минимальное количество железа. Свинец обнаружен во всех пробах, самое высокое его содержание — в водах болотного и термокарстового типа. Наиболее близкие значения к медиане характерны для вод карьерных и старичных озер. Медь также обнаружена во всех озерах, относительно медианы в болотных озерах отмечено превышение Cu почти в 2 раза. Превышение значения медианы по Cd свойственно водам термокарстово-

го и болотного типа. Наибольшее значение концентрации цинка обнаружено в старичных озерах. Высокое содержание Mn — в озерах болотного типа, в одном термокарстовом озере, а Ni — в старичных и карьерных озерах. Эти данные были использованы в дальнейшем для оценки индекса загрязнения вод.

Оценить влияние различных факторов в процессе формирования химического состава вод можно несколькими способами. В данной работе использовали факторный анализ методом главных компонент. Основанный на анализе корреляций компонентов, факторный анализ позволяет объединить данные при наименьших потерях первоначальной информации, сократить число переменных и определить структуру взаимосвязей между ними. Применение этого анализа дает возможность сформировать представление о природных и антропогенных процессах, определяющих химический состав вод [7, 11, 13].

В матрицу для проведения анализа включили главные ионы, интегральные характеристики, результаты микроэлементного анализа. Полученные факторные нагрузки приведены в таблице 4.

Первый фактор имеет определяющее влияние: его доля в общей дисперсии составила 40%. Результаты факторного анализа позволяют судить об определяющей роли генезиса озер на содержание некоторых компонентов химического состава вод, а именно: общего, минерального и органического углерода, железа и марганца, а также свинца, меди, кадмия, аммония и калия. Эти элементы можно считать своеобразными маркерами принадлежности озер к тому или иному типу. Кроме того, в первый фактор вполне закономерно попадает и кислотность вод. Наличие тесной связи между содержанием органического вещества и таких металлов, как Fe, Mn, Pb, Cu, Cd, позволяет предположить протекание процессов комплексообразования этих металлов с гумусовыми кислотами в водах исследуемых озер. Катионы аммония принимают участие в протекании окислительно-восстановительных процессов в водоеме, их присутствие в значительной мере связано со значением Eh водной среды.

Почвообразующие породы Надымского района представлены современным полустрием, озерно-аллювиальными отложениями с прослоями и линзами суглинков и супесей. Широкое распространение песчаных пород определяет общую обедненность почвенно-геохимического фона и низкую минерализацию почвенных растворов на данной территории [17, 18].

Второй фактор оказывает меньшее влияние: его доля в общей дисперсии составила 17%. В него вошли: УЭП, содержание главных ионов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  и общий углерод. Эти данные указывают на наличие вполне закономерной связи между общей минерализацией и содержанием главных ионов.

Третий фактор имеет еще меньшее значение доли в общей дисперсии (всего 9%) и объединяет биогенные компоненты азотной группы —  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{NO}_3^-$ . Противоположные знаки факторных нагрузок этих ионов можно объяснить их образованием в результате разных процессов: ион  $\text{NH}_4^+$  образуется в процессах восстановления, а ион  $\text{NO}_3^-$  — в процессах окисления.

Таблица 4

## Факторные нагрузки

Table 4

## Factor load values

Показатель	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
Тип озера	<b>0,72</b>	- 0,23	0,016
pH	<b>0,66</b>	- 0,45	- 0,46
УЭП	0,22	- <b>0,55</b>	0,08
Цветность	- 0,39	0,23	- 0,36
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	- <b>0,65</b>	- 0,11	- <b>0,61</b>
K <sup>+</sup>	<b>0,80</b>	- 0,07	- 0,37
Na <sup>+</sup>	0,44	- <b>0,82</b>	0,20
Mg <sup>2+</sup>	0,49	- <b>0,76</b>	0,20
Ca <sup>2+</sup>	0,33	- <b>0,71</b>	0,35
Cl <sup>-</sup>	0,45	- 0,52	- 0,15
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	- 0,26	- 0,09	<b>0,77</b>
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,37	- 0,40	- 0,21
C <sub>общ</sub>	- <b>0,74</b>	- <b>0,54</b>	0,003
C <sub>орг</sub>	- <b>0,91</b>	- 0,35	0,007
Fe <sub>общ</sub>	- <b>0,80</b>	- 0,35	- 0,40
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,55	- 0,50	- 0,004
Mn	- <b>0,89</b>	- 0,07	0,16
Pb	- <b>0,94</b>	- 0,30	0,06
Cd	- <b>0,81</b>	- 0,06	0,36
Cu	- <b>0,62</b>	- 0,44	- 0,11
Ni	0,19	0,03	0,024
Zn	- 0,31	0,05	0,26
Общ. дис.	9,69	4,16	2,26
Доля общ., %	40	17	9

Примечание: факторные нагрузки являются значимыми при их абсолютном значении не менее **0,53**.

Note: factor loads are significant when their absolute value is at least **0.53**.

Все элементы, обнаруженные в химическом составе проб, можно отнести к различным классам опасности согласно СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод» и Приказу Федерального агентства по рыболовству от 18.01.2010 г. № 20. Индекс загрязнения воды (ИЗВ) — гидрхимический индекс, аддитивный коэффициент, являющийся одним из наиболее часто используемых (основное преимущество — быстрота и простота расчетов) для установления временной изменчивости качества воды. Средняя доля превышения ПДК по строго лимитированному числу индивидуальных ингредиентов:

$$\text{ИЗВ} = \frac{\sum \frac{C_{i-n}}{\text{ПДК}_{i-n}}}{n}, \quad (1)$$

где  $\frac{C}{\text{ПДК}}$  — относительная (нормированная) среднегодовая концентрация компонента;  $n$  — количество показателей (ингредиентов), берущихся для расчета;  $\text{ПДК}_i$  — установленная величина норматива для соответствующего типа водного объекта.

Для расчета ИЗВ принято использовать содержание тех элементов, которые либо наиболее токсичны, либо их содержание близко к значению ПДК или превышает его [1]. Проанализировав экспериментально полученные данные, выбрали показатели, удовлетворяющие указанным выше условиям. Также добавили такую характеристику, как биологическое потребление кислорода за 5 суток ( $\text{БПК}_5$ ) — интегральный показатель наличия легкоокисляемых органических веществ (ПДК — не более 3 мг). В качестве примера в таблице 5 приведены данные для озер болотного типа.

По результатам расчетов построена диаграмма распределения значений ИЗВ для озер разного типа (рис. 4).

Таблица 5

Table 5

Показатели для расчета ИЗВ, значения  $\text{ПДК}_{\text{рвх}}$  и значение ИЗВ для озер болотного типа

Data for calculating the water pollution index (WPI), the values of maximum permissible concentrations and the value WPI for swamp type lakes

№ озера	Показатель	$C_i$ , мг/л	$\text{ПДК}_{\text{рвх}}$ , мг/л	$C_i/\text{ПДК}_i$	ИЗВ
1	2	3	4	5	6
1	Fe <sub>общ</sub>	0,475	0,100	4,75	3,02
	Pb	0,010	0,006	1,60	
	Cd	0,002	0,005	0,34	
	$\text{БПК}_5$	4,200	3,000	1,40	
	Cu	0,007	0,001	7,00	

Окончание таблицы 5

Table 5 (end)

1	2	3	4	5	6
2	$\text{NH}_4^+$	1,690	0,500	3,38	14,1
	$\text{Fe}_{\text{общ}}$	6,456	0,100	64,6	
	Pb	0,021	0,006	3,58	
	$\text{БПК}_5$	10,90	3,000	3,63	
	Cu	0,008	0,001	7,62	
	Mn	0,017	0,010	1,68	
3	$\text{Fe}_{\text{общ}}$	0,288	0,100	2,88	2,06
	Pb	0,006	0,006	0,98	
	Cd	0,001	0,005	0,12	
	Cu	0,004	0,001	4,26	

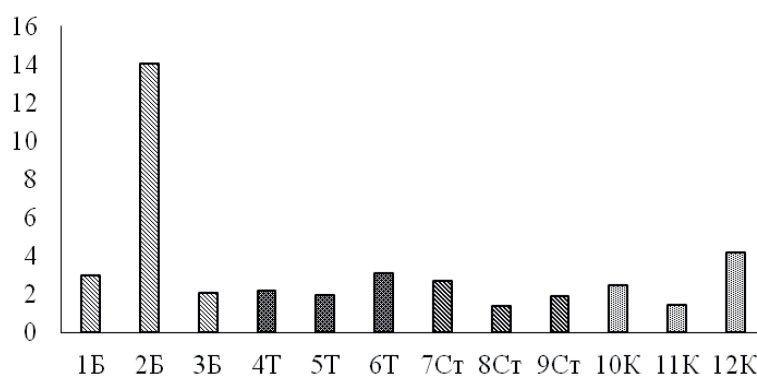


Рис. 4. Значения ИЗВ для малых озер Надымского района; тип озер: Б — болотные, Т — термокарстовые, Ст — старичные, К — карьерные

Fig. 4. WPI values for small lakes in the Nadym region; type of lakes: Б — swamp, Т — thermokarst lakes, Ст — oxbow river, К — quarry

Согласно полученным данным, старичные и термокарстовые озера имеют самые низкие значения ИЗВ (1,0-3,1), следовательно, являются самыми чистыми и соответствуют III и IV классу качества вод. Озера болотного типа — самые грязные (IV-VII класс). В озере 2Б обнаружено максимальное превышение  $\text{Fe}_{\text{общ}}$  значений ПДК<sub>рбх</sub>, что оказало значительное влияние на значение ИЗВ для болотных экосистем (2,1-14,1). Карьерные озера занимают промежуточное положение и соответствуют III-V классу качества вод, имея интервал значения ИЗВ от 1,4 до 4,2. Отмечен интересный факт: в каждом из типов озер есть вода, соответствующая IV классу — загрязненная. Важно и то, что если в химическом

составе воды найдены железо и медь, то они превышают значение ПДК<sub>рбх</sub>, исключением является озеро 8, где  $C(Fe_{общ}) < ПДК_{рбх}$ . Это можно объяснить изначально большими фоновыми концентрациями данных металлов, т. к. они являются типоморфными для озер Западной Сибири. Согласно существующим данным, медь и железо обладают высокой комплексообразующей способностью с органическим веществом, вследствие чего возможна инактивация данных элементов [6, 12, 14]. Следовательно, обосновывать экологическую опасность загрязнения вод медью и железом на основе сопоставления их массовых концентраций с нормативами, принятыми в России, не очень корректно.

Содержание органического вещества убывает в ряду: болотные, термокарстовые, старичные, карьерные озера, что обусловлено условиями формирования и питания озер различного происхождения. Кислотность вод убывает в ряду: термокарстовые, болотные, старичные, карьерные озера. На основании определения микроэлементного состава в водах озер болотного типа выявлено повышенное содержание  $Fe_{общ}$ ,  $Cu$ ,  $Pb$ ,  $Mn$ . В термокарстовых озерах —  $Fe_{общ}$ ,  $Cu$  и  $Pb$ . В озерах старичного и карьерного типа найдено относительно высокое содержание  $Fe_{общ}$ ,  $Cu$ ,  $Ni$ ,  $Pb$ .

### Заключение

На основе полученных данных комплексного анализа химического состава вод можно дать следующую оценку экологического состояния малых озер Надымского района: на данный момент ни одно из озер не соответствует значениям ПДК<sub>рбх</sub>. Основными загрязняющими веществами являются ионы  $Cu$  (все 12 озер) и  $Fe_{общ}$  (9 озер из 12), реже  $Pb$  (6 озер из 12),  $Mn$  (2 озера из 12). Гидрохимический состав исследуемых водных экосистем формируется в основном под влиянием зональных и азональных природных факторов, связанных с поступлением органического вещества с водосборных территорий, кислотностью, выщелачиванием микроэлементов из донных отложений водоемов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гагарина О. В. Оценка и нормирование качества природных вод: критерии, методы, существующие проблемы: учеб.-метод. пособие / О. В. Гагарина. Ижевск: Удмуртский университет, 2012. 199 с.
2. Гидрология заболоченных территорий зоны многолетней мерзлоты Западной Сибири / под ред. С. М. Новикова. СПб.: ВВМ, 2009. 536 с.
3. Иванов К. Е. Болота Западной Сибири, их строение и гидрологический режим / К. Е. Иванов, С. М. Новиков. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 448 с.
4. Измайлова А. В. Водные ресурсы озер Российской Федерации / А. В. Измайлова // География и природные ресурсы. 2016. № 4. С. 5-14.
5. Кирпотин С. Н. Динамика площадей термокарстовых озер в сплошной и прерывистой криолитозонах Западной Сибири в условиях глобального

- потепления / С. Н. Кирпотин, Ю. М. Полищук, Н. А. Брыксина // Вестник Томского государственного университета. 2008. № 133. С. 185-189.
6. Кремлева Т. А. Геохимические особенности природных вод Западной Сибири: микроэлементный состав / Т. А. Кремлева, Т. И. Моисеенко, В. Ю. Хорошавин, А. А. Шавнин // Вестник Тюменского государственного университета. 2012. № 12. С. 80-89.
  7. Кремлева Т. А. Оценка влияния основных природных и антропогенных факторов на формирование химического состава вод малых озер Западной Сибири статистическими методами / Т. А. Кремлева, Л. П. Паничева, А. А. Шавнин и др. // Вестник Тюменского государственного университета. 2013. № 5. С. 7-21.
  8. Кукушкин С. Ю. Индикаторы антропогенной нагрузки на природно-территориальные комплексы при освоении нефтегазоконденсатных месторождений севера Западной Сибири: дисс. ... к. г. н. / С. Ю. Кукушкин. СПб., 2016. 200 с.
  9. Лезин В. А. Водные ресурсы рек и озер Тюменской области / В. А. Лезин // Вестник Тюменского государственного университета. 2011. № 12. С. 62-69.
  10. Манасыпов Р. М. Особенности элементного состава озерных вод и макрофитов термокарстовых экосистем субарктики Западной Сибири / Р. М. Манасыпов, С. Н. Кирпотин, О. С. Покровский, Л. С. Широкова // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 3 (19). С. 186-198.
  11. Моисеенко Т. И. Влияние природных и антропогенных факторов на процессы закисления вод в гумидных регионах / Т. И. Моисеенко, Н. А. Гашкина, М. И. Дину, В. Ю. Хорошавин, Т. А. Кремлева // Геохимия. 2017. № 1. С. 43-58.
  12. Моисеенко Т. И. Инактивация токсичных металлов в водах суши гумусовыми веществами / Т. И. Моисеенко, Л. П. Паничева, М. И. Дину, Т. А. Кремлева, Н. Н. Фефилов // Вестник Тюменского государственного университета. 2011. № 5. С. 6-19.
  13. Моисеенко Т. И. Формирование химического состава вод озер в условиях изменений окружающей среды / Т. И. Моисеенко, Н. А. Гашкина. М.: Наука, 2010. 268 с.
  14. Паничева Л. П. Формирование состава органических веществ в малых озерах Западной Сибири / Л. П. Паничева, Т. И. Моисеенко, Т. А. Кремлева, С. С. Волкова // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2015. Том 1. № 1. С. 151-163.
  15. Румянцев В. А. Состояние водных ресурсов озер арктической зоны Российской Федерации / В. А. Румянцев, А. В. Измайлова, Л. Н. Крюков // Проблемы Арктики и Антарктики. 2018. Том 64. № 1. С. 84-100. DOI: 10.30758/0555-2648-2018-64-1-84-100
  16. Солонин Ю. Г. Медико-физиологические аспекты жизнедеятельности в Арктике / Ю. Г. Солонин, Е. Р. Бойко / Арктика: экология и экономика. 2015. № 1 (17). С. 70-75.
  17. Тигеев А. А. Особенности почвенного покрова бассейна реки Хыльмигьяха (Надым-Пуровское междуречье) / А. А. Тигеев // Вестник Тюменского государственного университета. 2014. № 4. С. 39-48.
  18. Шамилишвили Г. А. Особенности почвенного покрова Надымского района, ЯНАО / Г. А. Шамилишвили, Е. В. Абакумов, А. С. Печкин // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. Экология Арктики. 2016. № 4 (93). С. 12-15.

**Tatyana A. KREMLEVA<sup>1</sup>**

**Anastasia A. YUZHANINA<sup>2</sup>**

**Alexander S. PECHKIN<sup>3</sup>**

**Elena V. AGBALIAN<sup>4</sup>**

UDC 556.047

**ECOLOGICAL ENVIRONMENT AND MAIN FACTORS OF CHEMICAL  
COMPOSITION PRODUCTION OF THE NADYM REGION'S  
SMALL LAKES**

<sup>1</sup> Dr. Sci. (Chem.), Professor, Department of Organic and Ecological Chemistry,  
University of Tyumen  
t.a.kremleva@utmn.ru

<sup>2</sup> Master Student, Institute of Chemistry, University of Tyumen  
yuzhanina\_nastena95@mail.ru

<sup>3</sup> Junior Researcher, Scientific Center for the Study of the Arctic (Nadym)  
a.pechkin.ncia@gmail.com

<sup>4</sup> Dr. Sci. (Biol.), Chief Researcher, Head of the Sector,  
Scientific Center for the Study of the Arctic (Nadym)  
agbelena@yandex.ru

**Abstract**

This paper presents the results of original research conducted jointly by the staff of the Center for the Study of the Arctic (Nadym) and University of Tyumen, aimed at studying the natural and man-made factors that determine the chemical composition of the waters of small lakes in the Arctic zone.

The authors present the integral characteristics of water and the data on the ionic composition and on the content of heavy metals. The latter and biochemical oxygen consumption (BOC<sub>5</sub>) allow calculating water pollution index (WPI). The old river and thermokarst lakes have the lowest WPI values (1.0-3.1). They are the cleanest and correspond to the III and IV classes of water quality,

---

**Citation:** Kremleva T. A., Yuzhanina A. A., Pechkin A. S., Agbalian E. V. 2018. "Ecological Environment and Main Factors of Chemical Composition Production of the Nadym Region's Small Lakes". Tyumen State University Herald. Natural Resource Use and Ecology, vol. 4, no 4, pp. 33-50. DOI: 10.21684/2411-7927-2018-4-4-33-50

---



while the lakes of the marsh type are the dirtiest (class IV-VII). To identify the correlations between the main indicators of the composition of water and the connection with the genesis of lakes, the authors used factor analysis (program Statistica 10) and the method of the main components.

According to the results of factor analysis, the authors have established that the content of dissolved organic matter in water bodies, in addition to the type of lakes, has a determining effect on the composition of waters. The first and most significant factor combined the water content of organic carbon and the following metals: lead, manganese, cadmium, iron, and copper. Zinc and nickel were not included in this group. The second factor, which has a slightly lower significance, unites the main ions; the third — various forms of nitrogen.

Based on the presented data, the authors concluded that the chemical composition of water is mainly formed under the influence of natural factors. Organic substances contribute to this process significantly enriching the aqueous medium with metal ions.

### **Keywords**

Hydrochemistry, arctic small lakes, composition of waters, assessment of ecological state, factors of formation of the aquatic environment.

**DOI: 10.21684/2411-7927-2018-4-4-33-50**

### **REFERENCES**

1. Gagarina O. V. 2012. Otsenka i normirovaniye kachestva prirodnykh vod: kriterii, metody, sushchestvuyushchiye problemy: uchebno-metodicheskoye posobiye [Assessment and Regulation of the Quality of Natural Waters: Criteria, Methods, and Existing Problems: Teaching Guide]. Izhevsk: Udmurt State University.
2. Novikov S. M. (ed.). 2009. Gidrologiya zabolochennykh territoriy zony mnogoletney merzloty Zapadnoy Sibiri [Hydrology of Wetlands in the Permafrost Zone of Western Siberia]. Saint Petersburg: VVM.
3. Ivanov K. E., Novikov S. M. 1976. Bolota Zapadnoy Sibiri, ikh stroyeniye i gidrologicheskiy rezhim [Marshes of Western Siberia, Their Structure, and Hydrological Regime]. Leningrad: Gidrometeoizdat.
4. Izmailova A. V. 2016. "Vodnyye resursy ozer Rossiyskoy Federatsii" [Water Resources of Lakes of the Russian Federation]. Geography and Natural Resources, no 4, pp. 5-14.
5. Kirpotin S. N., Polishchuk Yu. M., Bryksina N. A. 2008. "Dinamika ploshchadey termokarstovykh ozer v sploshnoy i preryvistoy kriolitozonakh Zapadnoy Sibiri v usloviyakh global'nogo potepleniya" [Dynamics of Areas of Thermokarst Lakes in Continuous and Intermittent Cryolithozone of Western Siberia in the Context of Global Warming]. Tomsk State University Journal, no 133, pp. 185-189.
6. Kremleva T. A., Moiseenko T. I., Khoroshavin V. Yu., Shavnin A. A. 2012. "Geokhimicheskiye osobennosti prirodnykh vod Zapadnoy Sibiri: mikroelementnyy sostav" [Geochemical Features of Natural Waters of Western Siberia: The Trace Element Composition]. Tyumen State University Herald, no 12, pp. 80-89.
7. Kremleva T. A., Panicheva L. P., Shavnin A. A. et al. 2013. "Otsenka vliyaniya osnovnykh prirodnykh i antropogennykh faktorov na formirovaniye khimicheskogo

- sostava vod malykh ozer Zapadnoy Sibiri statisticheskimi metodami” [Assessment of the Influence of the Main Natural and Anthropogenic Factors on the Formation of the Chemical Composition of the Waters of Small Lakes in Western Siberia by Statistical Methods]. Tyumen State University Herald, no 5, pp. 7-21.
8. Kukushkin S. Yu. 2016. “Indikatory antropogennoy nagruzki na prirodno-territorial’nyye kompleksy pri osvoyenii neftegazokondensatnykh mestorozhdeniy severa Zapadnoy Sibiri” [Indicators of Anthropogenic Load on Natural Territorial Complexes during the Development of Oil and Gas Condensate Fields in the North of Western Siberia]. Cand. Sci. (Geogr.) diss. Saint Petersburg.
  9. Lezin V. A. 2011. “Vodnyye resursy rek i ozer Tyumenskoy oblasti” [Water Resources of Rivers and Lakes of the Tyumen Region]. Tyumen State University Herald, no 12, pp. 62-69.
  10. Manasypov R. M., Kirpotin S. N., Pokrovsky O. S., Shirokova L. S. 2012. “Osobennosti elementnogo sostava ozernykh vod i makrofitov termokarstovykh ekosistem subarktiki Zapadnoy Sibiri” [Features of the Elemental Composition of Lake Waters and Macrophytes of Thermokarst Subarctic Ecosystems of Western Siberia]. Tomsk State University Journal. Biology, no 3 (19), pp 186-198.
  11. Moiseenko T. I., Gashkina N. A., Dinu M. I., Khoroshavin V. Yu., Kremleva T. A. 2017. “Vliyaniye prirodnnykh i antropogennykh faktorov na protsessy zakisleniya vod v gumidnykh regionakh” [The Influence of Natural and Anthropogenic Factors on the Processes of Water Acidification in Humid Regions]. Geochemistry, no 1, pp. 43-58.
  12. Moiseenko T. I., Panicheva L. P., Dinu M. I., Kremleva T. A., Fefilov N. N. 2011. “Inaktivatsiya toksichnykh metallov v vodakh sushi gumusovymi veshchestvami” [Inactivation of Toxic Metals in Land Waters with Humus Substances]. Tyumen State University Herald, no 5, pp. 6-19.
  13. Moiseenko T. I., Gashkina N. A. 2010. Formirovaniye khimicheskogo sostava vod ozer v usloviyakh izmeneniy okruzhayushchey sredy [Formation of the Chemical Composition of Lake Waters under Environmental Conditions]. Moscow: Nauka.
  14. Panicheva L. P., Moiseenko T. I., Kremleva T. A., Volkova S. S. 2015. “Formirovaniye sostava organicheskikh veshchestv v malykh ozerakh Zapadnoy Sibiri” [Formation of the Composition of Organic Substances in Small Lakes in Western Siberia]. Tyumen State University Herald. Natural Resource Use and Ecology, vol. 1, no 1, pp. 151-163.
  15. Rumyantsev V. A., Izmailova A. V., Kryukov L. N. 2018. “Sostoyaniye vodnykh resursov ozer arkticheskoy zony Rossiyskoy Federatsii” [State of Water Resources of the Lakes of the Arctic Zone of the Russian Federation]. Arctic and Antarctic Research, vol. 64, no 1, pp. 84-100. DOI: 10.30758/0555-2648-2018-64-1-84-100
  16. Solonin Yu. G., Boyko E. R. 2015. “Mediko-fiziologicheskiye aspekty zhiznedeyatel’nosti v Arktike” [Medico-Physiological Aspects of Life in the Arctic]. Arctic: Ecology and Economy, no 1 (17), pp. 70-75.
  17. Tygeev A. A. 2014. “Osobennosti pochvennogo pokrova basseyna reki KHyl’mig’yakha (Nadym-Purovskoye mezhdurech’ye)” [Peculiarities of the Soil Cover of the Khil’migyakh River Basin (Nadym-Purovskoe Interfluve)]. Tyumen State University Herald, no 4, pp. 39-48.
  18. Shamilishvili G. A., Abakumov E. V., Pechkin A. S. 2016. “Osobennosti pochvennogo pokrova Nadymnogo rayona, YaNAO” [Features of the Soil Cover of the Nadym Region, Yamalo-Nenets Autonomous Area]. Nauchnyy vestnik Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga. Ekologiya Arktiki, no 4 (93), pp. 12-15.