

мых пробах воды не обнаружены, все полученные значения концентрации висмута металла меньше 1 мкг/дм<sup>3</sup>, сурьмы — меньше 10 мкг/дм<sup>3</sup>.

На основе анализа данных по распределению металлов (Fe, Al, Mn, Cu, Zn) и растворенного органического вещества в широтном градиенте выявлено, что микроэлементы можно разделить на две группы — в первой группе наблюдается заметное увеличение концентрации к северной части реки, во второй — содержание примерно одинаково на всех участках. В первую группу можно отнести алюминий, цинк и медь, во вторую — железо и марганец. Объяснить такие результаты можно влиянием органического вещества, содержание которого увеличивается в этом же направлении. Наличие достоверной корреляции между содержанием металлов (алюминий, медь) и растворенного органического вещества позволяет предположить, что ионы этих металлов в воде преимущественно связаны в комплексы. Для ионов других металлов подобной корреляции не наблюдается.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Винокуров Ю.И. Проблемы формирования и рационального использования водных ресурсов Обь-Иртышского бассейна / Ю.И. Винокуров и др. // XIV Съезд Русского географического общества (11-14 декабря 2010, г. С.-Петербург). Кн. 3. Климат, Мировой океан и воды суши. СПб., 2010. С. 135-138.
2. Моисеенко Т.И., Родюшкин И.В.. Формирование качества поверхностных вод и донных отложений в условиях антропогенных нагрузок на водосборы с арктического бассейна. Апатиты: Изд-во Кольск. науч. центр, 1996. 345с.
3. Моисеенко Т.И. Закисление вод: Факторы, механизмы и экологические последствия. М.: Наука, 2006. 261 с.
4. Нечаева Е.Г. Природные и техногенные ландшафтно-геохимические преобразования территории среднего Приобья // География и природные ресурсы. 2004. №3. С. 62-71.
5. Папина Т.С. Эколого-аналитическое исследование распределения тяжелых металлов в водных экосистемах бассейна р. Обь: дис. ... д-ра хим. наук. М.: РГБ, 2005. 257 с.
6. Ресурсы поверхностных вод суши: Средняя Обь. Л.: Гидрометеоздат, 1972. 406 с.
7. Российская Арктика: на пороге катастрофы / под ред. А.В. Яблокова. М.: Центр экологической политики России, 1996. 206 с.

УДК: 556.047

### ВЛИЯНИЕ ГЕНЕЗИСА МАЛЫХ ОЗЕР НАДЫМСКОГО РАЙОНА НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОД И ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ

*А.А. ЮЖАНИНА, Т.А. КРЕМЛЕВА*

*Тюменский государственный университет  
(Тюмень, Россия)  
yuzhanina\_nastena95@mail.ru, kreml-ta@yandex.ru*

Природные воды — наиболее динамичный агент, связывающий естественные объекты главных географических оболочек Земли — атмосферы, литосферы, биосферы. Химический состав водной экосистемы определяется

предшествующей ему историей, зависит от слагающих водосбор и ложе озера пород, питания, климата, количества и формы растворенных веществ и ряда других факторов, что делает его самым различным. Эти вопросы неоднократно привлекали большое внимание научной общественности: Моисеенко Т.И. (2010-2011, 2017), Агбалян Е.В. (2015), Шавнин А.А. (2013), Гашкина О.В. (2014), Кукушкин С.Ю. (2016), Паничева Л.П. (2015), и др.

Актуальность исследования водных экосистем арктических регионов обусловлена тем, что эти воды подвержены многостороннему воздействию, имеют слабую устойчивость к антропогенному воздействию, ограниченную способность к самоочищению. Ямало-Ненецкий автономный округ (ЯНАО) — один из крупнейших субъектов Арктической зоны Российской Федерации, входящий в состав Тюменской области и Уральского федерального округа. В настоящее время ЯНАО является многосторонним объектом исследования, представляющий наибольший интерес с точки зрения ресурсного потенциала, транспортного значения. Надымский район территориально расположен в центральной части ЯНАО между Пуровским и Шурышкарским районами, на юге и юго-западе граничит с Ханты-Мансийским автономным округом (ХМАО), а в северо-восточной части с Тазовским районом. Общая площадь района — 110 тысяч квадратных километров. По последним данным добыча углеводородов Надымского района ведется на 19 месторождениях, объекты нефтепромысловой инфраструктуры (поисково-разведочные скважины, площадки бурения, устьевое оборудование, транспортные средства, подъездные автодороги, нефте- и газопроводы, объекты нефтепереработки, площадки размещения отходов) являются одним из основных антропогенных источников загрязнения водных экосистем. Климат района — субарктический континентальный. Почвообразующие породы представлены озерно-аллювиальными отложениями с прослоями и линзами суглинков и супесей. Повсеместно распространена многолетняя мерзлота. Географические особенности исследуемого района обуславливают высокую заозеренность и заболоченность. В Надымском районе около 44,8 тысяч озер (Официальный сайт ЯНАО (2018)). Большую часть составляют малые озера, с площадью водной поверхности не более 10 км<sup>2</sup>, исследование экологического состояния которых необходимо для получения данных о текущем состоянии водных ресурсов и своевременном выявлении высокого уровня загрязнения в процессе хозяйственной деятельности, оценки и прогнозирования развития экологической ситуации в последующем, а также для пополнения базы данных по химическому составу малых озер арктической зоны Западной Сибири. Наибольшую значимость с точки зрения биогеохимических исследований представляют озерно-болотные экосистемы, т. к. они являются уникальными природными индикаторами климатических изменений, способны быстро реагировать на любое воздействие извне (природное или техногенное).

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. В соответствии с целью были поставлены задачи: поиск и анализ литературных источников по данной тематике; проведение комплексного анализа химического состава вод, ото-

бранных в малых озерах Надымского района (ионный состав, интегральные характеристики водной среды, содержание тяжелых металлов); определение вклада различных факторов в формирование химического состава вод; оценка современного экологического состояния озер. Работа выполнена в рамках сотрудничества Тюменского государственного университета с ГКУ Ямало-Ненецкого автономного округа «Научный центр изучения Арктики». В последующем данные по химическому составу вод озер и результаты экологической оценки озер Надымского района использовались центром для решения основных задач сектора эколого-биологических исследований.

В качестве объекта исследований выбраны малые озера Надымского района, площадь водного зеркала которых не более 10 км<sup>2</sup>. Отбор проб был произведен 8 сентября 2016 года в диапазоне 65°31'-65°36' северной широты и 072°30'-073°04' восточной долготы. Взятие воды проводилось с учетом требований ГОСТ Р 51592-2000 «Вода. Общие требования к отбору проб» с глубины 0,3-0,5 м от поверхностной глади, температура воды при отборе составила 14-17°С.

Исследуемые озера относятся к 4 различным генетическим типам: болотные, термокарстовые, старичные и карьерные. Для озер болотного типа характерно большое содержание органического вещества, основная причина появления — изменение водно-воздушного режима в поверхностных горизонтах почвы. Термокарстовые озера — озера, образование которых вызвано так называемыми карстовыми процессами, связанными с растворением природными водами некоторых горных пород (известняки, доломиты, гипсы, соли), а также таянием вечной мерзлоты. Старичными (пойменными) озера называются, если предстают собой небольшие мелководные дугообразные участки старых русел рек или даже ручьев, их жизнь таких тесно связана с водным режимом реки. Карьерные озера — озера, образованные в результате человеческой деятельности, максима, как правило, их образование связано с добычей песка для строительных нужд, располагаются вблизи населенных пунктов или непосредственно на их территории.

Данная аналитическая программа работ включала в себя определение: рН — водородный показатель — методом прямой потенциометрии, АНИОН 4100; удельная электропроводность (УЭП) при 20°С, кондуктометрия, АНИОН 4100, РД 52.24.495-2005; цветность воды (Цв) и перманганатная окисляемость (ПО) — спектрофотометрия, спектрофотометр UNICO 1201, ГОСТ 31868-2012 и ГОСТ Р 55684-2013 соответственно; содержание органических и минеральных форм углерода (С<sub>орг</sub> и С<sub>мин</sub>) методом элементного анализа с использованием прибора vario TOC, Elementar cube, ГОСТ Р 52991-2008; содержание главных ионов: Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> — капиллярный электрофорез с помощью системы капиллярного электрофореза «Капель-105», ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> — ионообменная хроматография с использованием ионного хроматографа «Dionex ICS 2100», ПНД Ф 14.1.175-2000; щелочность (гидрокарбонаты и карбонаты) методом потенциометрического титрования, АНИОН 4100, РД 52.24.493-2006; микроэлементы (Fe<sub>общ</sub>, Mn, Cr, Cu, Ni, Zn, Pb и др.) — атомно-абсорбционная спектроскопия, атомно-абсорбционный спектрофотометр «ContrAA700», электротермическая

атомизация, ПНД Ф 14.1:2:4.134-98. Определение химического состава вод и обработка результатов осуществлялись по единым методикам при постоянном внутрिलाбораторном контроле в лабораториях Тюменского государственного университета.

Макрокомпонентный состав является одной из основных характеристик водной среды, определяющих особенности ее формирования под воздействием природных и техногенных факторов. Главные ионы (макрокомпоненты) определяют химический тип вод. Микрокомпоненты содержатся гораздо в меньших количествах, но необходимы для нормальной жизнедеятельности растений, животных, человека. Промежуточные компоненты — растворенные компоненты, приобретающие в некоторых водах первостепенное значение, к таким относят:  $\text{H}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ . В рамках комплексного химического анализа были определены интегральные показатели исследуемых озер.

К суммарным характеристикам относятся: рН, УЭП, цветность, ПО, различные формы углерода. Согласно полученным данным воды исследуемых озер либо слабокислые (рН=5,0-6,5 ед. рН), либо близкие к нейтральным (рН=6,5-7,5 ед. рН). Кислотность вод убывает в ряду: термокарстовые, болотные, старичные, карьерные озера. Наибольшее значение УЭП имеют озера старичного типа: 107; 135; 57,6 мкСм/см, максимальное превышение значения медианы почти в 2,5 раза; затем карьерные, болотные и старичные. Содержание органического вещества убывает в ряду: болотные, термокарстовые, старичные, карьерные озера, что обусловлено условиями формирования и питания озер различного происхождения.

Для озер Надымского района характерна невысокая степень минерализации вод. В таблице 1 представлены результаты определения ионного состава (главные положительно и отрицательно заряженные ионы).

На основании полученных данных можно сделать вывод, что исследуемые озера имеют приблизительно одинаковый ионный состав в пределах одного типа и различны в сравнении с другим: только для карьерных озер характерно содержание сульфатов. Остальные главные ионы в том или иной количестве присутствуют во всех типах озер. Для удобства сопоставления анализов воды применяли формулы М.Г. Курлова, классификацию по методу О.А. Алекина, для наглядного изображения химического состава использовали круговую диаграмму Н.И. Толстихина. Большинство озер (11), вне зависимости от генезиса, относятся к гидрокарбонатному классу вод группы кальция, только одно озеро (карьерное) отнесено к гидрокарбонатному классу вод группы магния. Воды всех озер — слабо минерализованные, ультрапресные, мягкие, что вполне согласуется с результатами работ Т.А. Кремлевой (2012-2013), Н.А. Гашкиной (2014).

Для формирования более полного представления о химическом составе вод малых озер Надымского района было измерено содержание основных микроэлементов. Это тяжелые металлы — Cd, Pd, Zn, Ni, Mn, Cu. Полученные данные сравнивали с медианой. Выявили повышенное содержание Fe, Cu, Pb, Mn в водах озер болотного типа, в термокарстовых: Fe, Cu и Pb, в пробах старичных и карьерных озер найдено относительно высокое содержание Fe, Cu, Ni, Pb. Для оценки влияния различных факторов в процессе формирования химического

состава вод использовали факторный анализ методом главных компонент. По его результатам были выявлены параметры водной среды, оказывающие максимальное влияние на общий состав. Свообразными маркерами принадлежности озер к тому или иному типу стали: ТС, ТОС, ТКС, Fe, Mn, Pb, Cu, Cd,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ , а также вполне закономерно попадает и кислотность вод (рН).

Таблица 1

**Результаты определения концентрации главных ионов**

№ про-бы	$\text{NH}_4^+$	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$
	мг/дм <sup>3</sup>								
Болотные озера									
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
Термокарстовые озера									
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
Старичные озера									
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
Карьерные озера									
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

Важным элементом системы мониторинга водных объектов является оценка их состояния. Индекс загрязнения воды (ИЗВ) — гидрохимический индекс, аддитивный коэффициент, являющийся одним из наиболее часто используемым (основное преимущество — быстрота и простота расчетов) для установления временной изменчивости качества воды — средняя доля превышения ПДК по строго лимитированному числу индивидуальных ингредиентов; ПДК в воде водоема, используемого для рыбохозяйственных целей (ПДК<sub>рбх</sub>).

Исходя из рис. 1 видно, что 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.

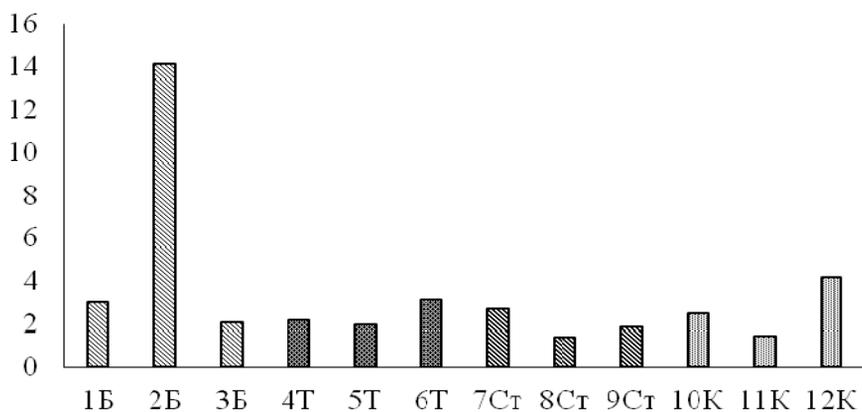


Рис. 1. Значения ИЗВ для малых озер Надымского района:  
Б — болотные, Т — термокарстовые, Ст — старичные, К — карьерные

Отмечен интересный факт: в каждом из типов озер есть вода, соответствующая IV классу — загрязненная. Важен и тот факт: если в химическом составе воды найдены железо и медь, то они превышают значение ПДК<sub>рбх</sub>, исключением является озеро 8, там  $C(Fe_{\text{общ}}) < ПДК_{\text{рбх}}$ . 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 ОБ, вследствие чего возможна инактивация данных элементов. Следовательно, обосновывать экологическую опасность загрязнения вод медью и железом на основе сопоставления их массовых концентраций с нормативами, принятыми в России, не очень корректно. На основании полученного ИЗВ можно заключить, что: на данный момент ни одно из озер не соответствует значениям ПДК<sub>рбх</sub>. Основными загрязняющими веществами являются ионы Cu (все озера) и Fe (девять озер), реже Pb (шесть озер), Mn (два озера).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агбалян Е.В. Оценка устойчивости озерных экосистем Ямало-Ненецкого автономного округа к кислотным выпадениям / Е.В. Агбалян, В.Ю. Хорошавин, Е.В. Шинкарук // Вестник ТюмГУ. Экология и природопользование. 2015. Т. 1, № 1. С. 45-54.
2. Гагарина О.В. Оценка и нормирование качества природных вод: критерии, методы, существующие проблемы: учеб.-метод. пособие // Ижевск: Удмуртский университет. 2012. 199 с.
3. Гашкина Н.А. Пространственно-временная изменчивость химического состава вод малых озер в современных условиях изменения окружающей среды: дис. ... д-ра геогр. наук. М., 2014. 207 с.
4. Кремлева Т.А. Геохимические особенности природных вод Западной Сибири: микроэлементный состав / Т.А. Кремлева и др. // Вестник ТюмГУ. 2012. № 12. С. 80-89.
5. Кремлева Т.А. Оценка влияния основных природных и антропогенных факторов на формирование химического состава вод малых озер Западной Сибири 15 статистическими методами / Т.А. Кремлева и др. // Вестник ТюмГУ. 2013. № 5. С. 7-21.

6. Кукушкин С.Ю. Индикаторы антропогенной нагрузки на природно-территориальные комплексы при освоении нефтегазоконденсатных месторождений севера Западной Сибири: дис. ...канд. геогр. наук. СПб., 2016. 200 с.
7. Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А. Формирование химического состава вод озер в условиях изменений окружающей среды. М.: Наука, 2010. 268 с.
8. Моисеенко Т.И. Инактивация токсичных металлов в водах суши гумусовыми веществами / Т.И. Моисеенко и др. // Вестник ТюмГУ. 2011. №5. С. 6-19.
9. Моисеенко Т.И. Влияние природных и антропогенных факторов на процессы закисления вод в гумидных регионах / Т.И. Моисеенко и др. // Геохимия. М.: ФГУП Наука. 2017. №1. С. 43-58.
10. Официальный сайт Ямало-Ненецкого автономного округа. [Электронный ресурс] / Администрация муниципального образования. Надымский район. Природа. Режим доступа: <http://nadymregion.ru/nadym-raion/nature/> (Дата обращения март 2018).
11. Паничева Л.П. Формирование состава органических веществ в малых озерах Западной Сибири / Л.П. Паничева и др. // Вестник ТюмГУ. Экология и природопользование. 2015. Т. 1, № 1. С. 151-163.
12. Шавнин А.А. Взаимосвязь между содержанием металлов и растворенного органического вещества в водах малых озер Западной Сибири // Международный научный журнал. 2013. № 2. С. 112-114.