

УДК 556.047

DOI 10.26110/ARCTIC.2020.107.2.006

Агбалян Елена Васильевна

ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» (Салехард, Россия),
заведующий сектором эколого-биологических исследований,
доктор биологических наук

Папина Татьяна Савельевна

ФГБУН Институт водных и экологических проблем СО РАН (Барнаул, Россия),
начальник химико-аналитического центра,
доктор химических наук

Красненко Александр Сергеевич

ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» (Салехард, Россия),
старший научный сотрудник сектора эколого-биологических исследований,
кандидат биологических наук

Печкин Александр Сергеевич

ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» (Салехард, Россия),
научный сотрудник сектора охраны окружающей среды

Шинкарук Елена Владимировна,

ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» (Салехард, Россия),
научный сотрудник сектора эколого-биологических исследований

E.V. Agbalyan, T.S. Papina, A.S. Krasnenko, A.S. Pechkin, E.V. Shinkaruk

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ И БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОЗЕРА ХАНТО (СЕВЕР ЗАПАДНОЙ СИБИРИ)

HYDROCHEMICAL AND BIOGEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF LAKE KHANTO (NORTH OF WESTERN SIBERIA)

Аннотация. Выявлены биогеохимические особенности озера Ханто и дана оценка его современного экологического состояния. В качестве объектов исследования были выбраны: поверхностные воды, донные отложения, окунь обыкновенный (*Perca fluviatilis* L.) и рогоз узколистный (*Typha angustifolia* L.). Установлено, озерные воды обогащены Sr (EF=116.9), Fe (EF=13.7) и Ba (EF=12.8), донные отложения - Cd (EF=18.8) и Ni (EF=16.3). Выявлены элементы накопления в *Typha angustifolia* L. - Zn, Mn, Ba, Sr, в *Perca fluviatilis* L. - Hg. К основным источникам загрязнения озера относятся хозяйственная деятельность на водосборной территории, пожары, региональный и трансграничный атмосферный перенос загрязняющих веществ.

Abstract. The biogeochemical features of Lake Khanto were revealed and an assessment of its current ecological state is given. As the objects of study, we selected: surface water, bottom sediments, perch (*Perca fluviatilis* L.), and narrow-leaved cattail (*Typha angustifolia* L.). It was found that lake waters are enriched in Sr (EF = 116.9), Fe (EF = 13.7) and Ba (EF = 12.8), bottom sediments are enriched in Cd (EF = 18.8) and Ni (EF = 16.3). The elements of accumulation of Zn, Mn, Ba, Sr in *Typha angustifolia* were revealed. Hg was identified in *Perca fluviatilis* L. The main sources of lake pollution are economic activity in the catchment area, fires, regional and transboundary atmospheric transport of pollutants.

Ключевые слова: поверхностные воды, донные отложения, гидробионты, озеро Ханто, Ямало-Ненецкий автономный округ.

Keywords: surface water, bottom sediments, hydrobionts, Lake Khanto, Yamal-Nenets Autonomous District.

Введение

Биогеохимические циклы занимают центральное место в водной экосистеме и объединяют все её блоки в результате биогенной миграции химических элемен-

тов [1, 2]. Процессы геохимической миграции приводят к проникновению техногенных продуктов в биогеохимические циклы. Биогеохимические исследования

позволяют установить особенности регионального природного фона микроэлементов, выявить антропогенные компоненты загрязнения природной среды, изучить биотический отклик на химическое изменение среды обитания и зафиксировать основные тренды изменения антропогенной трансформации окружающей среды [3, 4, 5].

С использованием биогеохимических методов проведена оценка экологического состояния озера Ханто. Исследовались основные компоненты озерной экосистемы: водная среда, донные отложения, водная растительность, рыба. В качестве биогеохимических индикаторов для определения загрязнения водного объекта использовались водные растения и ткани рыб. Установлен элементный состав и особенности концентрирования химических элементов водными организмами озера.

Оценка экологического состояния озера Ханто необходима для научного обоснования мероприятий по рекультивации водоёма и предотвращения дальнейшей деградации водной экосистемы. Цель исследований заключается в выявлении биогеохимических особенностей озера Ханто и оценке его современного экологического состояния.

Материал и методы

Озеро Ханто расположено в Надым-Пуровском междуречье в 1,5 км к северо-западу от г. Ноябрьск Пуровского района Ямало-Ненецкого автономного округа. Озеро находится в северо-таёжной подзоне с характерными многочисленными грядово-мочажинными болотами, озерами, островами вечной мерзлоты и буграми пучения. На подзолисто-элювиально-глеевых почвах прибрежной полосы озера произрастают сосновые лишайниково-зеленомошные и берёзово-сосновые с лиственницей леса.

Площадь зеркала воды озера составляет 2,43 км², площадь водосборного бассейна – 18,7 км². Ханто является проточным водоёмом, принимающим три безымянных ручья. Из озера вытекает одна безымянная река, соединяющая его с реками Нанкпёх и Янгаяха. Вся акватория дна озера покрыта иловыми отложениями сапропелевого характера (0,3-1,9 м).

Юго-восточное побережье озера представлено пляжной зоной (длиной 1200 м и шириной 270 м). На высоком холме в южной части в 100 м от озера расположены корпуса санатория «Озёрный», к востоку в 350 м расположены строения базы отдыха ОАО «Газпромнефть-ННГ», далее в 400 м – база отдыха ЗАО «Schlumberger». Один ручей, впадающий в озеро, протекает между гаражными кооперативами «Ханто-1» и «Ханто-2».

Полевые работы на озере Ханто осуществлялись в 2017 году. Проведен отбор проб поверхностных вод, донных отложений, водной растительности и рыбы. В качестве объектов исследования гидробионтов были выбраны наиболее распространенные виды: окунь обыкновенный (*Percafluviatilis* L.) и рогоз узколистный (*Typhaangustifolia* L.). *Percafluviatilis* L. является многочисленным пресноводным аборигенным видом рыб со

смешанным типом питания. *Typhaangustifolia* L. (Magnoliophyta): многолетняя длиннокорневищная болотная или прибрежно-водная трава с линейными очередными листьями.

Отбор проб поверхностных вод на химический анализ проводился в соответствии с требованиями нормативно-методических документов: ГОСТ 31861-2012 «Вода. Общие требования к отбору проб»; ГОСТ 17.1.5.05-85 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков».

Водные растения отбирались с борта лодки. Растения промывались проточной водой, и отбиралась осредненная проба (листья, стебли, корни). Растительные пробы сушились сначала на воздухе, а затем в сушильном шкафу при 80° до постоянной массы. Рыбы препарировались, и составлялась сборная проба.

Лабораторные исследования проводились в Химико-аналитическом центре Института водных и экологических проблем СО РАН. В пробах поверхностных вод определялись следующие показатели: pH, минерализация, главные ионы (Cl⁻, SO₃⁻, Ca²⁺, Na⁺, K⁺, Mg²⁺), фториды, бромиды, вещества биогенной природы (аммонийный и нитратный азот, фосфаты). В поверхностных водах, донных отложениях, водной растительности, рыбе определялись тяжелые металлы и металлоиды (Si, Fe, Sr, Al, Ba, Zn, Ag, Mn, Cu, Ni, Ti, Cr, V, Pb, Sb, Cd, Sn, Co, La, Li, U, Bi).

При оценке экологического состояния водных объектов использовались предельно допустимые концентрации для водоёмов рыбохозяйственного назначения.

Для эколого-геохимической оценки состояния водного объекта использовался метод оценки природных сред на основе коэффициентов обогащения. Коэффициент обогащения EF (Enrichment Factor) рассчитывался по формуле:

$$EF = (X_{np} / X_{Alnp}) / (X_{ф} / X_{Alф}),$$

где X_{np} – содержание элемента в пробе, мг/кг, X_{Alnp} – содержание в пробе элемента (Al) по которому нормируют, мг/кг, $X_{ф}$ – фоновое содержание элемента, мг/кг, $X_{Alф}$ – фоновое содержание элемента по которому нормируют, мг/кг. Нормирование проводилось по алюминию.

Рассчитывались коэффициенты накопления (КН) микроэлементов макрофитами и рыбой. Коэффициент накопления представляет собой отношение концентраций элемента в гидробионте и донных отложениях.

Результаты и обсуждение

Исследуемые природные воды характеризуются низкой минерализацией (табл. 1). Сухой остаток во всех пробах не превышает 50 мг/кг. Показатель удельной электропроводности воды варьирует от 60,2 до 62,5 мкСм/см. Среднее содержание гидрокарбонатов в поверхностных водах озера составляет 31,8±0,23 мг/дм³. Воды озера Ханто относятся к гидрокарбонатно-кальциевым водам. Содержание биогенных элементов Ca, Mg, Na, K в природных водах низкое.

Таблица 1. Результаты исследований проб поверхностных вод озера Ханто (мг/дм³)

Показатели	M±SD	M min	M max	ПДК
pH, ед.рН	6.53±0.1	6,53	6,99	6,0 – 8,5
Сухой остаток	<50	<50	<50	не норм.
Гидрокарбонаты	31,8±0,23	31,6	32,2	не норм.
УЭП, мкСм/см	61,5±0,8	60,2	62,5	не норм.
Общая жесткость, °Ж	0,48	0,48	0,48	12
Кальций	5,8	5,8	5,8	180
Магний	2,33±0,04	2,3	2,4	40
Натрий	2,33±0,11	2,2	2,5	120
Калий	0,37±0,03	0,33	0,42	50
Аммоний	0,53±0,05	0,47	0,61	0,5
Нитрат-ион	0,12±0,02	0,09	0,15	40
Фосфат-ион(по Р)	0,024±0,002	0,022	0,027	не норм.
Кремний	9,8±0,0	9,8	9,8	не норм.
Хлорид-ион	1,3±0,19	1,1	1,6	300
Сульфат-ион	1,63±0,04	1,6	1,7	100
Фторид-ион	<0,1	<0,1	<0,1	0,75
Бромид-ион	<0,05	<0,05	<0,05	1,35

Примечание. M – среднее значение, SD – среднеквадратичное отклонение.

В поверхностных водах озера установлено незначительное превышение ПДК по содержанию ионов NH₄⁺ (0,53±0,05 мг/дм³ против нормативной величины 0,5 мг/дм³). По концентрации аммонийного азота озеро Ханто относится к загрязненным водоёмам. Источниками ионов NH₄⁺ в водном объекте могут быть хозяйственно-бытовые сточные воды. Среднее содержание NO₃⁻ в поверхностных водах составляет 0,12±0,02 мг/дм³. NO₃⁻ являются конечным продуктом нитрификации всех органических азотсодержащих соединений. В воде содержание NO₃⁻ низкое, что может свидетельствовать о замедленных темпах микробиологического окисления ионов NH₄⁺ до NO₃⁻.

Среднее содержание PO₄³⁻ (в пересчете на фосфор) в озерных водах составляет 0,024±0,002 мг/дм³. Содержание Cl⁻, SO₄²⁻, F⁻, Br⁻ в поверхностных озерных водах низкое.

Обращает на себя внимание высокое содержание Si в исследуемых пробах (9,8 мг/дм³).

Элементный состав вод представлен в таблице 2. Содержание Fe во всех пробах поверхностных вод выше предельно допустимой концентрации (0,23±0,004 мг/дм³). Превышений нормативных величин по другим микроэлементам в поверхностных озерных водах выявлено не было.

Таблица 2. Микроэлементный состав природных вод, донных отложений, макрофитов и рыбы озера Ханто

Элемент	Озерная вода (мг/дм ³)		ДО (мг/кг)	Макрофиты (мг/кг)	Рыба (мг/кг)
	ПДК	<u>M</u> Mmin – Mmax	<u>M</u> Mmin - Mmax	<u>M</u> Mmin - Mmax	<u>M</u> Mmin - Mmax
Al	0,04	<u>0,0083</u> 0,008-0,009	<u>2940</u> 1940-4460	<u>310</u> 80-540	<u>2,43</u> 2,24-2,62
Fe	0,1	<u>0,23</u> 0,22-0,23	<u>3930</u> 1350-7160	<u>5520</u> 640-10400	<u>4,07</u> 3,77-4,37
Ti	-	<0,0002	<u>175</u> 118-231	<u>22,75</u> <2,5-43	<u>0,81</u> 0,74-0,88
V	0,001	<u>0,00009</u> 0,00008-0,0001	<u>5,33</u> 3,78-7,49	<u>1,21</u> 0,23-2,18	<u>0,0025</u> 0,002-0,003
Cr	0,02	<u>0,000117</u> 0,0001-0,00015	<u>9,95</u> 6,28-14,0	<u>1,99</u> 1,49-2,50	0,09
Mn	0,01	<u>0,0021</u> 0,0017-0,0023	<u>182,6</u> 64,9-320	<u>358</u> 314-402	<u>0,28</u> 0,20-0,36

Co	0,01	0,00003	<u>1,6</u> 0,82-3,00	<u>0,45</u> 0,11-0,78	0,001
Ni	0,01	<u>0,0003</u> <0,0002-0,00046	<u>4,23</u> <1,2-10,3	<u>7,2</u> <1,2-13,2	<u>0,11</u> 0,07-0,15
Cu	0,001	<u>0,000967</u> 0,0004-0,0017	<u>0,95</u> <0,1-2,25	<u>0,69</u> <0,1-1,28	0,23
Zn	0,01	<u>0,0039</u> 0,0028-0,0048	<u>4,87</u> 2,53-9,22	<u>17,2</u> 10,7-23,7	<u>5,72</u> 4,99-6,45
Sr	0,4	0,03	<u>8,35</u> 4,6-13,3	<u>16,5</u> 14,8-18,2	<u>0,69</u> 0,55-0,84
Ag	-	<u>0,0033</u> 0,002-0,005	<0,1	<0,1	0,002
Cd	0,005	<u>0,000037</u> 0,00003-0,00005	<u>0,067</u> 0,05-0,08	<0,01	<u>0,0025</u> 0,002-0,003
Sn	0,112	<u>0,000037</u> 0,00002-0,00006	<0,25	<0,25	0,04
Sb	-	<u>0,00004</u> 0,00003-0,00006	<0,5	<0,5	0,001
Ba	0,740	<u>0,0052</u> 0,0051-0,0054	<u>18,32</u> 8,64-28,5	<u>37,3</u> 27,5-47,1	0,11
La	-	<u>0,000017</u> 0,00001-0,00002	<u>6,67</u> 5,39-7,58	<u>1,39</u> 0,08-2,70	<u>0,0015</u> 0,001-0,002
Tl	-	<0,00001	<u>0,023</u> 0,01-0,04	0,01	< 0,01
Pb	0,006	<u>0,000073</u> 0,00006-0,00009	<u>1,91</u> 1,39-2,65	<u>0,52</u> <0,03-1,00	0,01
Bi	-	<0,000001	<0,01	<0,01	<u>0,002</u> 0,001-0,003
U	-	<u>0,0000023</u> 0,000002-0,000003	<u>0,21</u> 0,18-0,23	<u>0,037</u> <0,003-0,07	0,002
Hg	0,00001	<0,000002	<u>0,0097</u> 0,005-0,015	<u>0,004</u> 0,002-0,006	<u>0,069</u> 0,058-0,080

Примечание. М – среднее значение.

По среднему содержанию микроэлементов в озерных водах можно их расположить в следующем порядке:

Fe>Sr>Al>Ba>Zn>Ag>Mn>Cu>Ni>Ti>Cr>V>Pb>Sb>Cd=Sn>Co>La>U>Bi>Hg.

Водная среда характеризуется динамичностью, неустойчивостью концентраций и состава химических элементов во времени, что значительно снижает её информационную и индикационную роль в мониторинговых исследованиях [6, 7, 8]. Донные отложения наиболее адекватно отражают современное состояние озера и содержат информацию о загрязнении водного объекта. Донные отложения озера Ханто представлены в виде песка и заиленного песка со значительным количеством детрита.

Элементы по их среднему содержанию в донных отложениях озера располагаются в следующей убывающей последовательности:

Fe>Al>Mn>Ti>Ba>Cr>Sr>La>V>Zn>Ni>Pb>Co>Cu>U>Cd>Ti>Hg.

К депонирующим средам наряду с донными отложениями относится водная высшая растительность. Высшим растениям свойственна избирательность в на-

коплении элементов [5]. Для *Typhaangustifolia* L. средние концентрации элементов расположены в следующий ряд:

Fe>Mn>Al>Ba>Ti>Zn>Sr>Ni>Cr>La>V>Cu>Pb>Co>U>Ti>Hg.

Содержание металлов в высших растениях сильно варьирует в зависимости от их биологической роли в организме. К биогенным элементам относятся макроэлемент - Fe, микроэлементы - Cu, Zn, Co, Mn, и ультрамикроэлементы - Al, Si, V, Cr, Ni. Биоэлементы участвуют в фотосинтетических процессах, синтезе белка, дыхании [9]. Водные сообщества макрофитов являются естественным барьером на пути антропогенных загрязнителей, поступающих с береговыми стоками [3].

Рыбы занимают верхний уровень трофической структуры экосистемы водоёма и способны аккумулировать тяжелые металлы. Воздействие низких концентраций тяжелых металлов на гидробионты в условиях хронического загрязнения водного объекта может быть опасным и приводить к уменьшению видового разнообразия, нарушению темпов и процессов биопродуцирования, смене доминантных видов биоцено-

за [10]. Накопление металлов в тканях рыбы зависит от гидрохимических показателей окружающей среды и принадлежности вида к той или иной экологической группе. Рыбы являются наиболее уязвимым компонентом водной экосистемы к воздействию загрязнения. В организм рыбы токсиканты проникают через жабры, кожу и пищу.

Средние концентрации элементов в мышечной ткани *Percafluviatilis* L. можно расположить в следующей убывающей последовательности:

Zn>Fe>Al>Ti>Sr>Mn>Cu>Ni=Ba>Cr>Hg>Sn>Pb>V=Cd>Ag=Bi=U>La>Co=Sb.

Проведено сравнение усредненного элементного состава донных отложений с фоновыми концентрациями элементов с предварительным нормированием

по алюминию, который является типичным литофильным элементом (табл. 3). Для расчета коэффициента обогащения поверхностных вод были использованы фоновые содержания химических элементов для северо-таёжной зоны Западной Сибири [8]. Коэффициенты накопления химических элементов живыми организмами рассчитаны относительно донных отложений озера Ханто.

Результаты расчетов показывают, что поверхностные воды озера в меньшей степени обогащены Ag, Cd, Sn, Tl, U (EF от 0,0 до 1,5). Средние значения коэффициентов обогащения имеют Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Zn, Sb, La (EF от 1,5 до 10). В значительной степени озерные воды обогащены Sr (EF=116,9), Fe (EF=13,7), Ba (EF=12,8).

Таблица 3. Коэффициенты обогащения (EF) химическими элементами поверхностных вод и донных отложений, коэффициенты бионакопления (КН) для макрофитов и рыбы озера Ханто

Элемент	Озерная вода	ДО	Макрофиты	Рыба
Fe	13,7	6,5	1,4	0,0
Ti	2,2	0,4	0,1	0,0
V	6,1	2,8	0,2	0,0
Cr	1,9	9,5	0,2	0,0
Mn	3,6	6,9	2,0	0,0
Co	2,5	8,6	0,3	0,0
Ni	2,6	16,3	1,7	0,0
Cu	2,6	1,9	0,5	0,2
Zn	5,7	2,4	3,5	1,2
Sr	116,9	1,3	2,0	0,1
Ag	0,5	-	1,0	0,02
Cd	0,0	18,8	0,2	0,04
Sn	0,0	-	1,0	0,2
Sb	1,6	-	1,0	0,0
Ba	12,8	0,3	2,0	0,0
La	2,8	8,1	0,2	0,0
Tl	0,1	1,1	0,4	-
Pb	1,2	1,4	0,3	0,0
U	0,5	4,0	0,2	0,0
Hg	-	-	0,4	7,1

Донные отложения озера обогащены Fe, V, Cr, Mn, Co, Cu, Zn, La, U (EF от 1,5 до 10). Максимальные значения коэффициентов обогащения донных отложений установлены для Cd (EF=18,8), Ni (EF=16,3). Донные отложения характеризуются аккумуляцией Cd, Ni, Cr, Co и La, тогда как поверхностные воды отличаются большей степенью обогащения Sr, Fe, Ba, V, Zn.

Коэффициенты бионакопления демонстрируют незначительную концентрационную функцию гидробионтов. Максимальные коэффициенты концентрации в *Typhaangustifolia* L. получены для Zn, Mn, Ba, Sr (КН от 2 до 3,5). В ходе исследования установлено, что интенсивность накопления химических элементов в *Typhaangustifolia* L. убывает в следующем порядке: Zn>Mn=Sr=Ba>Ni>Fe>Ag=Sn=Sb>Cu>Tl>Hg>Pb>V=Cr=Cd>La=U>Ti.

Расчет коэффициентов накопления в *Percafluviatilis* L. показывает, изученные химические элементы в тканях рыбы содержатся на уровне физиологической нормы. Следует отметить аккумуляцию Hg в *Percafluviatilis* L. (КН = 7,1).

В ходе исследования выявлена повышенная степень обогащения поверхностных вод озера Ханто Sr и Ba, донных отложений – Cd и Ni. Хозяйственная деятельность на водосборе озера Ханто приводит к загрязнению водной экосистемы. Одним из источников тяжелых металлов в окружающей среде является атмосферный привнос веществ, связанный с лесными пожарами и трансграничными переносами [13, 14].

Биогеохимические исследования озер Пур-Тазовского междуречья Ямало-Ненецкого автономного

округа позволили установить фоновые показатели для макрофитов [2]. Концентрации микроэлементов в макрофитах озера Ханто варьировали в пределах фоновых значений: Hg – от 0,05 мкг/г до 0,4 мкг/г, Cd – от 0,03 мкг/г до 1,3 мкг/г, Pb – от 0,1 мкг/г до 12 мкг/г. Установлено незначительное превышение содержаний некоторых элементов в биообъектах озера Ханто относительно кларков водных организмах [15]: Hg в рыбе ($M = 0,069$ мг/кг против 0,03 мг/кг), Ni в растительности ($M = 7,2$ мг/кг против 3 мг/кг), Mn в растительности ($M = 358$ мг/кг против 75 мг/кг).

В ряде исследований установлено, что в озерных водах Надым-Пурского междуречья складывается благоприятная обстановка для накопления химических элементов (Fe, Cr, Mn, Co, Ni, La) до уровня, существенно превышающего кларк речной воды [16]. В водной растительности термокарстовых озер в больших количествах накапливаются тяжелые металлы Pb, Zn, Sr, Co.

Проведено сравнение обнаруженных концентраций химических элементов в рогозе узколистном озера Ханто с таковыми в небольшом эвтрофном водохранилище Бугач, расположенном на северо-восточной окраине г. Красноярска [9]. Наши данные отличаются более высокими концентрациями Ti, Ni, Cr, V, Pb, Co, Fe и более низкими – Mn, Cu, Zn.

По данным других исследований поверхностные воды Ханто характеризуются превышением ПДК по нефтепродуктам, Cd, Cu, Pb [17].

Заключение

Озера являются конечным звеном аккумуляции токсических веществ и продуктов ветровой и водной эрозии. Малые озера в большей степени чувствительны к техногенным нагрузкам, в сравнении с крупными водоёмами, так как процессы самоочищения в них весьма ограничены.

Воды озера Ханто относятся к низкоминерализованным гидрокарбонатно-кальциевым водам с низ-

ким уровнем биогенных элементов. По концентрации аммонийного азота озеро относится к загрязненным водоёмам. Источниками ионов NH_4^+ в водном объекте могут быть хозяйственно-бытовые сточные воды. Также известно, повышенные концентрации аммонийной формы азота в поверхностных водах Западной Сибири связаны с низкой скоростью разложения органических веществ и анаэробными условиями их разложения.

Результаты исследования озера Ханто показали, что абсолютные концентрации изученных химических элементов во всех её компонентах в основном находятся в диапазоне колебаний фоновых величин, полученных для водоёмов Надым-Тазовского междуречья.

Опробованные поверхностные воды в значительной степени обогащены Sr (EF=116,9), Fe (EF=13,7), Ba (EF=12,8). Донные отложения обогащены большей частью изученных элементов, среди которых максимальные коэффициенты обогащения получены для Cd (EF=18,8), Ni (EF=16,3).

В ходе исследования установлено, что интенсивность накопления в *Typhaangustifolia* L. наиболее выраженная для $\text{Zn} > \text{Mn} = \text{Sr} = \text{Ba}$ (KH=2-3,5). Ткани *Percalfluvialis* L. в большей степени аккумулируют Hg (KH=7,1).

Одним из основных источников загрязнения озера Ханто является впадающий в озеро ручей, протекающий через гаражный кооператив. Источниками тяжелых металлов, возможно, являются пожары, ежегодно возникающие в значительных масштабах на территории Пувского района. К возможным источникам загрязнения изучаемой территории относятся выбросы загрязняющих веществ предприятиями ТЭК. Значимый вклад в загрязнение окружающей среды и увеличение техногенной нагрузки на арктические и субарктические экосистемы вносит глобальное поступление поллютантов.

Литература

1. Папина Т.С. Эколого-аналитическое исследование распределения тяжелых металлов в водных экосистемах бассейна р. Обь: дисс. докт. хим. наук. Барнаул, 2004. С. 259.
2. Леонова Г.А. Биогеохимическая индикация загрязнения водных экосистем тяжелыми металлами// Водные ресурсы. 2004. Том 31, № 2. С. 215-222.
3. Сиротский С.Е., Неудачина И.И., Ивашов П.В., Ким В.И., Махинов А.Н., Белоцкий С.В., Хавень З.В. Гидроморфологические, гидрохимические и биогеохимические особенности озера Теплое// Сборник статей «Биогеохимические ореолы рассеяния химических элементов в экосистемах Дальнего Востока», Владивосток, 1991. Изд-во ДВО АН СССР С. 51-80.
4. Ивашов П.В. Биогеохимическая индикация природных и техногенных концентраций химических элементов в окружающей среде. Владивосток: Изд-во ДВО АН СССР, 1992. 179 с.
5. Позняк С.С., Жильцова Ю.В., Романовский Ч.А. Оценка аккумуляции тяжелых металлов и образования антиоксидантных веществ в растениях Белоруси// Труды БГУ, 2010. Т. 5, ч. 1. С. 89-93.
6. Папина Т.С. Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в ряду: вода – взвешенное вещество – донные отложения речных экосистем: аналит. обзор/ ГПНТБ СО РАН; ИВЭП СО РАН, Новосибирск. 2001. 58 с.
7. Даувальтер В.А. Геоэкология донных отложений озер/ В.А. Даувальтер. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2012. 242 с.
8. Кремлева Т.А. Геохимические факторы устойчивости водных систем к антропогенным нагрузкам: дисс. ... докт. хим. наук. Москва, 2015. 260 с.
9. Иванова Е.А., Анищенко О.В., Грибовская И.В., Зиненко Г.К., Назаренко Н.С., Немчинов В.Г., Зуев И.В., Аврамов А.П. Содержание металлов в высших

водных растениях в небольшом сибирском водохранилище// Сибирский экологический журнал, 4 (2012). – С. 485-495.

10. Патин С.А. Морские экосистемы, биоресурсы и глобальный климат в XXI веке// Рыбное хозяйство, 1997. №3. С. 15-19.

11. Виноградов А.П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры// Геохимия, 1962. Вып. 7. С. 555-571.

12. Соловов А.П., Архипов А.Я., Бугров В.А. и др. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых. М.: Недра, 1990. С. 9-10.

13. Shcherbov B.L., Lazareva E.V. Migration factors of radionuclides and heavy metals during forest fires in Siberia// Advance in Environmental Research, 2010. V.4. P. 99-120.

14. Щербов Б.Л. Масштабы миграции ртути при сибирских лесных пожарах// Сборник трудов Второго международного симпозиума «Ртуть в биосфере:

эколого-геохимические аспекты», Новосибирск: ИХ СО РАН, 2015. С. 386-391.

15. Виноградов А.П. Химический элементный состав организмов и периодическая система Д.И. Менделеева// Труды Биогеохимической лаборатории АН СССР. 1935. Вып.3. С. 3-30.

16. Манасыпов Р.М., Кирпонин С.Н., Покровский О.С., Широкова Л.С. Особенности элементного состава озерных вод и макрофитов термокарстовых экосистем субарктики Западной Сибири// Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. №3 (19). С. 186-198.

17. Пасевич Е.И., Сапега В.А. Экологическая оценка состояния озера Ханто Ямало-Ненецкого автономного округа// Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: Материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов/ Отв. ред. А.Н. Халин. – Тюмень: ТИУ. 2018. Т. 2. С. 195-197.

Сведения об авторах:

Агбаляна Елена Васильевна, 1963 г.р., в 1986 году окончила Тюменский государственный медицинский институт по специальности «фармация». В 2001 году защитила кандидатскую диссертацию, в 2005 году - докторскую диссертацию по специальности «гигиена» в НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина РАМН (г. Москва). Заведующий сектором эколого-биологических исследований ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» (Салехард, Россия), доктор биологических наук. Сфера научных интересов: экология человека, биогеохимическая трансформация загрязняющих веществ, гидрогеохимия, Арктика. Тел.: +79224635909, E-mail: agbelena@yandex.ru

Папина Татьяна Савельевна, 1954 г.р., в 1977 г. окончила факультет естественных наук Новосибирского государственного университета по специальности «химия». В 1986 г. защитила кандидатскую диссертацию по специальности «аналитическая химия» в Институте неорганической химии СО РАН (г. Новосибирск), а в 2004 г. докторскую диссертацию по специальностям «экология» и «аналитическая химия» в Российском университете дружбы народов (г. Москва). Начальник химико-аналитического центра Института водных и экологических проблем СО РАН (Барнаул, Россия), доктор химических наук. Научные интересы: изучение биогеохимической трансформации загрязняющих веществ в водоемах и на водосборных бассейнах; исследование высокогорных ледников и атмосферных осадков для оценки современного и ретроспективного экологического состояния атмосферы. Тел.: +79039578544, E-mail: tanya.papina@mail.ru

Красненко Александр Сергеевич, 1981 г.р., окончил в 2003 году Ишимский государственный институт им. П.П. Ершова по специальности учитель биологии и географии, старший научный сотрудник сектора эколого-биологических исследований ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» (Салехард, Россия), кандидат биологических наук. Научные интересы: гидробиология, зоология, функционирование пресноводных экосистем. Тел.: +79220406099, E-mail: aleks-krasnenko@yandex.ru

Печкин Александр Сергеевич, 1990 г.р., окончил в 2013 году географический факультет Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского по специальности «Эколог-природопользователь». Научный сотрудник сектора охраны окружающей среды ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» (Салехард, Россия). Область научных интересов: экология, геоэкология, почвоведение, гидробиология. Тел.: +79821600815, a.pechkin.ncia@gmail.com

Шинкарук Елена Владимировна, 1977 г.р., в 2000 году окончила биологический факультет Тюменского государственного университета по специальности биология, научный сотрудник сектора эколого-биологических исследований ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» (Салехард, Россия). Область научных интересов: экология, биология, лабораторные исследования, генетика. Тел.: +79519928051, E-mail: elena1608197@yandex.ru

Information about the authors:

Agbalyan Elena Vasilievna, born in 1963, graduated from Tyumen State Medical Institute in 1986 with a degree in pharmacy. In 2001 she defended her thesis, in 2005 – her doctoral dissertation on hygiene at the A.N. Sysin Research Institute of Human Ecology and Environmental Health of RAMS (Moscow). Head of the Sector of Ecological and Biological Research of the Arctic Research Center of the Yamal-Nenets Autonomous District (Salekhard, Russia). Doctor of Biological Sciences. Research interests: human ecology, biogeochemical transformation of pollutants, hydrogeochemistry, the Arctic. E-mail: agbelena@yandex.ru

Papina Tatyana Savelievna, born in 1954, graduated from the Faculty of Natural Sciences of Novosibirsk State University in 1977 with a degree in chemistry. In 1986 she defended her thesis on analytical chemistry at the Institute of Inorganic Chemistry of SB RAS (Novosibirsk), and in 2004 she defended her doctoral dissertation on ecology and analytical chemistry at the Peoples' Friendship University of Russia (Moscow). Head of the Chemical-Analytical Center of the Institute for Water and Environmental Problems of SB RAS (Barnaul, Russia), Doctor of Chemical Sciences. Research interests: biogeochemical transformation of pollutants in water bodies and catchment areas, study of high mountain glaciers and precipitation to assess the current and retrospective ecological state of the atmosphere. E-mail: tanya.papina@mail.ru

Krasnenko Alexander Sergeevich, born in 1981, graduated from Ishim State Institute named after P.P. Ershov in 2003 with a teacher of biology and geography degree. Senior researcher of the Sector of Ecological and Biological Research of the Arctic Research Center of the Yamal-Nenets Autonomous District (Salekhard, Russia). Candidate of Biological Sciences. Research interests: hydrobiology, zoology, functioning of freshwater ecosystems. E-mail: aleks-krasnenko@yandex.ru

Pechkin Alexander Sergeevich, born in 1990, graduated from the Faculty of Geography of Saratov State University in 2013, specialty "Environmentalist". Researcher of the Arctic Research Center of the Yamal-Nenets Autonomous District (Salekhard, Russia). Research interests: ecology, geoecology, soil science, hydrobiology. E-mail: a.pechkin.ncia@gmail.com

Shinkaruk Elena Vladimirovna, born in 1977, graduated from the Faculty of Biology of Tyumen State University in 2000 with a degree in biology. Researcher of the Sector of Ecological and Biological Research of the Arctic Research Center of the Yamal-Nenets Autonomous District (Salekhard, Russia). Research interests: ecology, biology, laboratory research, genetics. E-mail: elena1608197@yandex.ru