

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДЕ И ИХ НАКОПЛЕНИЕ В ВОДОРОСЛЯХ-МАКРОФИТАХ НА ПРИМЕРЕ ГОРНО-ДОЛИННОГО ОЗЕРА **(ПРИПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)**

Приведены результаты сравнительного исследования содержания тяжелых металлов в водорослях-макрофитах и водной среде горно-долинного озера на Приполярном Урале, подверженного антропогенному воздействию. Показано, что водоросли хорошо аккумулируют тяжелые металлы из водной среды и могут служить показателями ее качества. Составлены ряды накопления тяжелых металлов в водной среде и в водорослях-макрофитах.

Введение

Сведений о накоплении тяжелых металлов (ТМ) водорослями в природных пресноводных экосистемах мало [1, 2], для северных регионов и Урала такие данные отсутствуют. Биогеохимическая индикация загрязнения окружающей среды химическими элементами используется пока незначительно как в нашей стране, так и за рубежом [1]. Горные экосистемы характеризуются повышенными концентрациями ТМ, высвобождающимися в результате сложных геохимических процессов, связанных с разрушением горных пород и миграцией химических элементов [3, 4]. Это особенно актуально для Уральского кряжа, который является одной из древних горных систем планеты, трансформация пород здесь протекает уже многие миллионы лет [5]. ТМ включаются в круговороты веществ в биогеоценозах. Неизбежна аккумуляция ТМ в живых компонентах экосистем.

На современном этапе развития актуальной становится проблема загрязнения наземных и водных экосистем, в том числе ТМ в связи с функционированием самых различных отраслей промышленности, прежде всего горнодобывающей, в результате деятельнос-

Е.Н. Патова*,

кандидат биологических наук, заведующий лабораторией, доцент, ФГБУН Институт биологии Коми НЦ УрО Российской академии наук

И.Н. Стерлягова,

кандидат биологических наук, инженер I категории, ФГБУН Институт биологии Коми НЦ УрО Российской академии наук



ти объектов которой в экосистемы поступает значительное число поллютантов [4]. Вскрытие рудных тел месторождений поверхностными горными выработками – канавами, шурфами, штольнями и т.д. при проведении поисковых и геологоразведочных работ приводит к разрыхлению приповерхностных горизонтов почвогрунтов и способствует увеличению скорости миграции и объема (массы) перемещаемого минерального вещества за счет твердой и жидкой фаз (внутрипочвенные растворы и грунтовые воды). При буровзрывных работах происходит рассеивание рудосодержащего минерального вещества на десятки, сотни метров и даже километры по долинам рек и ручьев [1]. Водоросли наряду с другими биообъектами являются высокочувствительными индикаторами состояния водных экосистем, в том

* Адрес для корреспонденции: patova@ib.komisc.ru

числе содержания в воде ТМ. Ряд микроэлементов, таких, как медь, железо, марганец, цинк и др., присутствующих в водоемах в малых концентрациях, необходимы для нормальной жизнедеятельности споровых и сосудистых растений [6]. Они являются составной частью энзиматических систем, участвуют в переносе кислорода, энергии, в передвижении электронов через мембраны клеток, влияют на синтез и передачу наследственной информации [7]. В небольших концентрациях они оказывают стимулирующее действие на водоросли, при повышении концентраций ТМ действуют как поллютанты и оказывают угнетающее действие на рост и развитие водорослей.

Цель работы – проведение сравнительной оценки содержания ряда ТМ в воде и макроскопических талломах водорослей в горно-долинном озере на Приполярном Урале, испытывающем влияние месторождения по добыче жильного кварца.

Материалы и методы исследования

Отбор проб воды и водорослей проведен в июле-августе 2006 г. Исследованное оз. Большое Балбанты расположено в бассейне р. Балбанью на территории национального парка «Югыд ва» (65°12'52" с.ш., 60°15'33" в.д.) на Приполярном Урале. Озеро горно-долинное (высота 684 м над ур.м.), проточное (рис. 1). Площадь озера равна 0,66 км², наибольшая длина – 2,06 км, ширина – 0,65 км. Ванна озера состоит из двух котловин, разделенных подводным порогом. В северо-восточной части озера достигает максимальной глубины (19 м). Средняя глубина его 6,3 м. Дно озера с глубины 4-5 м покрыто слоем ила, из-под которого местами выступают каменные глыбы. Вода прозрачная до глубины 6-9 м зеленовато-голубого цвета [8, 9] (рис. 2).



Рис. 1. Карта-схема района исследований. А – расположение национального парка Югыд ва. Б – схема станций отбора проб. Ст. 1-3 – станции. Стрелка – место расположения месторождения «Желанное».

Рис. 2. Оз. Большое Балбанты. На склоне г. Баркова видны штольни кварцевого рудника.



Основным источником загрязнения является месторождение «Желанное» по добыче жильного кварца штольным методом. Озеро испытывает влияние подземных вод, изливающихся из штолен месторождения. Выполнен отбор проб воды в местах сбора водорослей-макрофитов на трех станциях (ст. 1 – начало оз. Б. Балбанты, условно чистый участок, фон; ст. 2 – конец озера, пос. Желанный, добыча кварца; ст. 3 – р. Балбанью, ниже пос. Желанный 2 км) (рис. 1).

Для анализа были взяты водоросли, образующие макроскопические разрастания в водоемах из разных таксономических групп:

Ulothrix zonata (Web. et Mohr.) Kütz. (рис. 3) – нитчатая зеленая водоросль, образует макроскопические разрастания в виде мягких нежных слизистых дерновинок на различных подводных предметах, в т.ч. каменистом субстрате [10]. Предпочитает пресные чистые, хорошо аэрируемые проточные воды. В оз. Б. Балбанты встречается в массе на всех станциях отбора проб. Может иметь две формы сапробности: олигосапробионт – форма чистых вод и альфа-мезосапробионт – форма загрязненных вод [11].

Nitella opaca (Bruz.) Ag. (рис. 4) – харовая водоросль, 20-30 см высотой, обитает в пресных, преимущественно стоячих водоемах, а также в реках, на илистом, каменисто-илистом, илисто-песчаном дне [12]. В оз. Б. Балбанты (в юго-западной части), обнаружены заросли на дне озера; олигосапробионт [13].

Tetraspora cylindrica (Wahl.) Ag. (рис. 5) – колониальная зеленая водоросль, колонии до 1 м длиной, в форме длиннотрубчатой, на концах немного утолщенной слизистой трубки, прикрепленной к субстрату с помощью короткой плотной тонкой ножки.

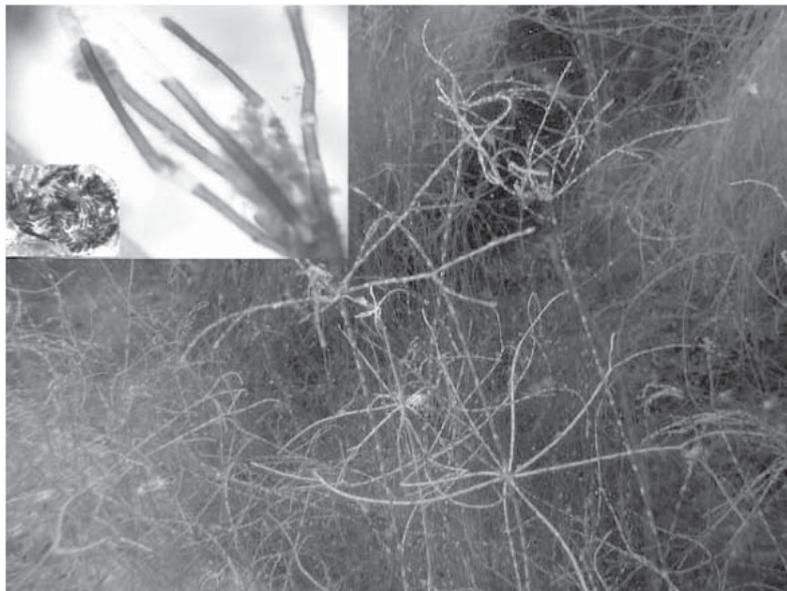


Рис. 4. Нителла тусклая (*Nitella opaca*) – талломы и оогоний (орган размножения).

Обитает в холодных реках, ручьях и озерах [14]. В оз. Б. Балбанты встречается часто, в массе на камнях на участках с быстрым течением; олигосапробионт [13].

Макроскопические талломы водорослей собирали вручную, очищали от посторонних примесей, высушивали и растирали до воздушно-сухого состояния. В водорослях и воде определено девять элементов, относящихся к ТМ: Mn, Ni, Co, Cr, Cu, Pb, Zn, Cd, Fe (в воде в мкг/кг, в водорослях в мг/кг); превышение концентраций этих элементов отмечается при проведении горных работ при добыче полезных ископаемых [4]. Химический анализ выполнен в аналитической лаборатории «Экоаналит» Института биологии с использованием метода мокрого озоления на СВЧ-минерализаторе «Минотавр» и атомно-адсорбционной спектрофотометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-AES). Построены ряды накопления ТМ в водорослях с использованием коэффициента аккумуляции, который был рассчитан по соотношению содержания микроэлемента в талломах к его содержанию в водной среде в местах отбора проб. Для оценки содержания ТМ в воде использованы ПДКрбхз. и ПДКсанит.-токс. [15].

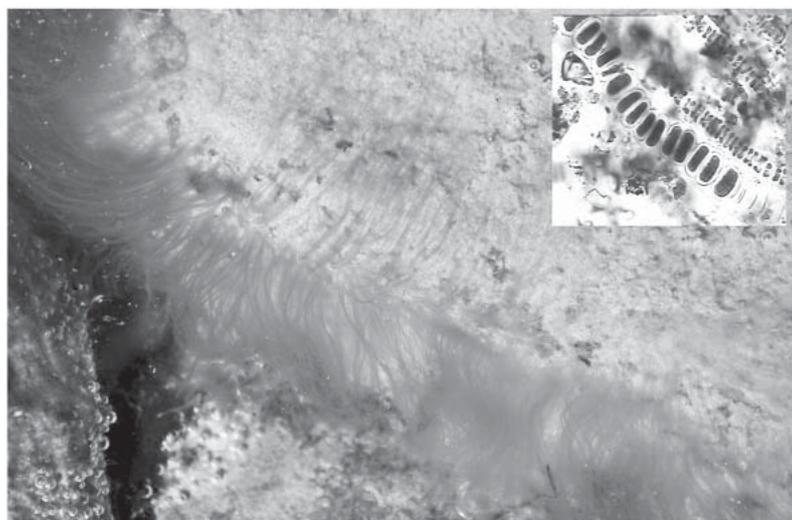


Рис. 3. Улотрикс поясной (*Ulothrix zonata*) – макроскопические разрастания на камнях и нити под микроскопом.

Результаты и их обсуждение

Обследованный водоем по гидрохимическим показателям отнесен к олиготрофному типу: воды низкоминерализованные гидрокарбонатно-кальциевого состава, удельная электропроводность составляет 19,7-21,8 мкС/см, рН 6,0-6,7,

содержание O_2 2,08-3,78 мг/л. Невысокие показатели цветности (15,6-33,0о) и перманганатной окисляемости (0,78-1,18 мг/л) свидетельствуют о небольшом содержании органических веществ в воде. Концентрация соединений биогенных элементов, в том числе азота и фосфора, не превышает пределов, характерных для северных водоемов, а в ряде случаев снижается до аналитического нуля.

Количественное содержание изученных химических элементов металлов в водной среде озера по станциям приведено в *табл. 1*, из которой видно, что максимальные концентрации наблюдаются для Fe, минимальные – для Cd. Ряд элементов (Ni, Co) был обнаружен лишь на одной станции, а концентрация Pb во всех пробах была ниже чувствительности метода анализа. Для некоторых элементов, таких как Fe, Zn и Cu, отмечено повышенное содержание ТМ, превышающее ПДК_{рбхз.}, а для Fe и ПДК_{санит.-токс.} (*табл. 1*). Построен ряд содержания ТМ в воде: Fe>Mn>Zn>Cu>Cr>Ni>Co>Cd. Сравнение полученных данных о содержании ТМ в воде с данными литературы [16] показало сходство с природными водами тундрового и таежного типа (Fe>Mn>Ni>Zn>Cu>Cr>Pb>Cd>Co).

Содержание ТМ в водорослях по станциям приведено в *табл. 2*. Выявленные значения превышают показатели, полученные для водной среды в 103-106 раз. Максимальные концентрации отмечены для Fe, минимальные – для Cd. Для сравнения результатов были взяты из литературы кларки этих элементов в растениях [17], так как для водорослей таких данных найти не удалось. По

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в водной среде оз. Б. Балбанты (мкг/дм³)

Тяжелые металлы	Ст. 1	Ст. 2	Ст. 3	ПДК _{рбхз.}	ПДК _{санит.-токс.}
Fe	500	560	490	100	300
Mn	7,3	8,0	9,0	10	100
Zn	19,6	6,1	0,16*	10	1000
Cu	0,9	1,3	1,6	1	1000
Cr	0,4	0,6	0,5	1	50
Ni	н/о	2,2	н/о	10	100
Co	н/о	0,4	н/о	10	100
Cd	0,3	0,3	0,4	0,5	1
Pb	н/о	н/о	н/о	10	30

Примечание: * означает, что результат измерения меньше нижней границы диапазона определяемого содержания; н/о означает, что данный элемент не обнаружен; ПДК даны по [15].

содержанию Fe и Cd в водорослях наблюдалось превышение кларковых значений на всех станциях, а для Pb – на двух станциях. Ряды содержания ТМ оказались примерно одинаковыми для разных видов водорослей на всех станциях отбора проб, незначительно варьировало содержание Pb, Cr, Ni и Co, что позволило выстроить общий ряд содержания ТМ в водорослях: Fe>Mn>Zn>Cu>Pb>Cr>Ni>Co>Cd. Ряды накопления для улотрикса и нителлы были схожими: Mn>Fe>Zn>Cu, и немного отличались для тетраспоры: Fe>Mn>Cr>Cu>Cd. Рассмотрим особенности содержания ТМ в водорослях и воде по станциям.

Фоновые содержания Fe в улотриксе составляют 4400 мг/кг сухой массы, что от 1,3 до 1,9 раз меньше его количества в пробах с техногенных участков (*табл. 2*). Содержание Fe возрастает от ст. 1 к ст. 2 и уменьшается к ст. 3. Однако фоновые содержания Fe в нителле в 3 раза выше, чем в улотриксе, что, вероятно, связано с большей поглощательной (аккумулятивной) способностью харовых водорослей [6]. Максимальные содержания Fe в водорослях выше в 4-13 раз кларковых значений этого металла в растениях, равного 1000 мг/кг сухой массы. В водной среде его содержание было выше ПДК_{рбхз.} и ПДК_{санит.-токс.} в 5 и 1,5 раза, соответственно, что может быть связано с поступлением в водоем растворимых форм железа из горных ландшафтов с ливневыми потоками после интенсивных дождей, прошедших в период отбора проб [4].

Фоновые содержания Mn в улотриксе составляют 200 мг/кг, что в 4,8-8 раз меньше его количества в пробах с техногенных участков (*табл. 2*). Содержание Mn как и Fe воз-



Рис. 5. Тетраспора цилиндрическая (*Tetraspora cylindrica*) – макроскопические разрастания на камнях и фрагмент колонии под микроскопом.

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в водорослях оз. Большое Балбанты в сравнении с литературными данными и кларками в растениях (в мг/кг сухой массы)

Тяжелые металлы	Ст.1, <i>Nitella opaca</i>	Ст.1, <i>Ulothrix zonata</i>	Ст.2, <i>Ulothrix zonata</i>	Ст.3, <i>Tetraspora cylindrica</i>	<i>Zygnema sp.</i> ¹	<i>Chara vulgaris</i> ^{2*}	<i>Chara vulgaris</i> ^{2**}	Кларк в растениях
Fe	13400±4000	4400±1200	8400±2400	5600±1600	—	15150	8299	1000
Mn	4000±1200	200±60	1600±500	970±290	2240-13240	6749	1542	7500
Zn	71,0±14,0	21,0±4,0	55,0±11,0	360,0±70,0	110-266	28,84	42,86	500
Cu	25,0±5,0	9,6±1,9	9,0±1,8	24,0±5,0	35,8-107	17,49	15,04	200
Pb	20,0±5,0	2,3±0,6	8,2±2,1	17,0±4,0	18-60	5,24	4,36	10
Cr	11,7±2,3	8,3±1,7	7,3±1,5	15,0±3,0	10-20	3,95	10,93	250
Ni	11,0±4,0	3,3±1,2	6,8±2,4	9,0±3,0	11-20	0,64	9,01	50
Co	8,0±3,0	1,3±0,5	7,0±3,0	5,1±2,0	7-14	0,093	11,7	15
Cd	1,40±0,07	0,41±0,21	0,6±0,3	0,6±0,3	1,0-2,0	1,44	0,45	0,1

Примечание: кларки в растениях даны по [17], прочерк означает отсутствие данных; 1 Малые реки Республики Карелия [18]; 2 оз. Севан [19] - 2* - сентябрь, 2** - август.

растает от ст. 1 к ст. 2 и уменьшается к ст. 3. Фоновые содержания Mn в нителле в 20 раз выше, чем в нитчатках. Однако следует отметить, что максимальные содержания Mn в водорослях в 1,85 раза ниже кларковых значений этого металла в растениях, равного 7500 мг/кг [17]. Содержание Mn в водной среде возрастает от фоновых участков к загрязненным, где почти достигает ПДК_{рбхз.} (табл. 1). Как было показано другими исследователями, больше всего марганца накапливают погруженные гидрофиты, причем как в загрязненных, так и в относительно чистых водоемах в водных растениях его концентрация колебалась в пределах от следовых до 3180 мг/кг сухого веса (харовые водоросли) [6].

Содержание Zn в водорослях возрастает от фона (ст. 1) к антропогену (ст. 2), но концентрации этого элемента во всех пробах ниже рассчитанных кларков (табл. 2). Для нителлы, как уже отмечалось ранее для других металлов, содержание Zn в 3,5 раза выше, чем в улотриксе. Для Zn не было отмечено увеличения содержания в водной среде от фона к антропогену, но на фоновом участке оно оказалось выше ПДК_{рбхз.} в 1,9 раза (табл. 1). Для сравнения – содержание цинка в нитчатой зеленой водоросли *Zygnema sp.* в малых реках Карелии составляет 4-14,5 мг/кг сухого веса [18], в перифитоне – 25,7-366,1 мг/кг [2].

Содержание Cu в улотриксе на ст. 1 и ст. 2 почти одинаковое, затем возрастает пример-



но в 3 раза к ст. 3 (табл. 2). Наибольшее содержание этого металла отмечено в нителле (ст. 1) и тетраспоре (ст. 3), что также ниже кларка в 8 раз. В воде изменяется содержание Си от фона к техногенным участкам, на которых концентрация этого элемента превышает ПДКрбхз. 1,3 и 1,6 раз (табл. 1). По данным литературы среднее фоновое содержание меди в гидрофитах относительно чистых водоемов составляет 3,5 мг/кг сухого веса [6]. В загрязненных водоемах содержание меди в водных растениях намного превышает фоновые величины, причем максимальные концентрации зафиксированы у воздушно-водных растений (136 мг/кг у сусака зонтичного) [6].

Содержание Рb в водорослях немного завышено по сравнению с кларковыми величинами, но не на всех станциях (табл. 2), при этом в воде этот элемент не был обнаружен. Содержание Рb в нителле на фоновом участке и содержание этого же элемента в тетраспоре на техногенном участке в 2 и 1,7 раза, соответственно, превышают кларковые значения. В улотриксе содержание Рb увеличивается от фона к антропогену, но не превышает кларковое значение. Высокое содержание свинца наблюдается у разных видов гидрофитов загрязненных водоемов. При средней фоновой величине содержания свинца в гидрофитах 2,4 мг/кг (в относительно чистых водоемах) максимальные значения отмечаются у воздушно-водных растений, в частности тростнике – 833 мг/кг сухого веса. Вблизи промышленных городов содержание свинца в растениях составляет 6-56 мг/кг сухого веса, что в 3-20 раз превышает фоновые величины [6].

Наибольшее содержание Сг (15 мг/кг) характерно для водорослей техногенного

Ключевые слова:

тяжелые металлы,
горное озеро,
водоросли-
макрофиты

участка (ст. 3), что в 1,8 раза превышает фоновые значения для улотрикса и в 1,28 раза для нителлы (табл. 2). Эти значения примерно в 20 раз ниже кларка в растениях. В воде содержание хрома возрастает от ст. 1 к ст. 2 и немного уменьшается к ст. 3, что ниже ПДКрбхз. примерно в 2 раза. Содержание хрома у водных растений в среднем составляет 0,3 мг/кг сухого веса, однако у гидрофитов (элодея, рдесты, роголистник, уруть), произрастающих вблизи промышленных городов, зафиксированы высокие концентрации хрома, в 125 раз превышающие средние фоновые значения [6]. Фоновые для улотрикса (3,3 мг/кг), для нителлы (11 мг/кг) и техногенные концентрации Ni для улотрикса (6,8 мг/кг) и тетраспоры (9,0 мг/кг) меньше его кларка в растениях [17]. Хотя необходимо отметить, что наибольшее содержание никеля, в 2-3 раза превышающее его фон, характерно для техногенных участков 2 и 3. В перифитоне малых рек Карелии, в частности в нитчатой зеленой водоросли *Zygnema sp.*, содержание никеля колеблется от 11 до 20 мг/кг сухого веса, что также ниже кларка этого элемента в растениях [18]. Содержание никеля в водных растениях некоторых водоемов Беларуси колеблется от следовых количеств до 41 мг/кг сухого веса (максимальное значение отмечено у частухи подорожниковой), что в 135 раз превышает среднее фоновое содержание никеля в гидрофитах [6]. Содержание Со в улотриксе возрастает от фоновому участку (ст. 1) к техногенному (ст. 2) и немного снижается к ст. 3. В нителле Со содержится в 6 раз больше, чем в нитчатках фоновых участках, что ниже кларка примерно в 2 раза. Для сравнения можно отметить, что содержание кобальта в нитчатой зеленой





водоросли *Zygnema sp.* в малых реках Карелии составляет 7-14 мг/кг сухого веса [18], в перифитоне – 3,5-54,9 мг/кг [2]. В водной среде Ni и Co были обнаружены в незначительных концентрациях (2,2 и 0,4 мкг/дм³, соответственно) лишь на ст. 2) (табл. 1).

Резко повышено содержание Cd в водорослях-макрофитах. На фоновых участках в улотриксе оно равно 0,41, а на техногенных – 0,6 мг/кг, что, соответственно, в 4 и 6 раз больше кларка (0,1 мг/кг). В нителле концентрация Cd в 14 раз выше кларка. Содержание Cd в водной среде на всех станциях практически одинаковое, немного возрастает от фона к антропогену и находится в пределах ПДКрбхз. Содержание кадмия в *Zygnema sp.* малых реках Карелии составляет 1-2 мг/кг [18], в водорослях перифитона – 0,1-3,3 мг/кг [2].

Заключение

Результаты исследований показали, что накопление большинства изученных ТМ как в водной среде, так и в водорослях возрастает от фоновых участков к антропогенным. Аккумуляция элементов зависит от таксономической принадлежности водорослей. Наибольшие концентрации ТМ были отмечены в талломах харовой водоросли – нителлы, наименьшие – для улотрикса и тетраспоры. Изученные макроскопические виды водорослей являются хорошими высокочувствительными биогеохимическими индикаторами состояния водной среды как фоновых, так и техногенных условий. Сравнение содержания изученных ТМ в водорослях с их кларковыми величинами в растениях показало, что концентрации Fe, Pb и Cd заметно выше кларков практически на всех станциях. Все остальные ТМ содержатся в водорослях в количествах, не превы-

шающих кларковые значения. В некоторых пробах водорослей с фоновых участков отмечены повышенные содержания ТМ на уровне кларков и даже выше их. По-видимому, это связано с поступлением этих металлов в водную среду в результате выветривания коренных пород [4], а также с техногенным загрязнением, связанным с деятельностью горнорудного месторождения «Желанное», оказывающего воздействие на водные экосистемы более 50 лет. В результате происходит накопление ТМ в донных отложениях горного озера и водоросли аккумулируют их в макроскопических талломах. Наши данные являются первыми сведениями по накоплению ТМ в водорослях-макрофитах Приполярного Урала, исследования будут продолжены в дальнейшем.

Авторы выражают благодарность сотрудникам аккредитованной экоаналитической лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН «Экоаналит» за проведение химического анализа проб воды и водорослей.

Исследования проведены при поддержке гранта РФФИ 10-04-01446-а и совместного проекта конкурсных программ научных исследований УрО РАН и СО РАН «Водоросли наземных экстремальных местообитаний арктических и бореальных горных регионов России: разнообразие, структура сообществ, эко-физиологические аспекты функционирования в биогеоценозах» № 12-С-4-1002.

Литература

1. Ивашов П.В. Биогеохимическая индикация загрязнения экосистем химическими элементами // Биогеохимические и гидроэкологические исследования техногенных экосистем. Владивосток: Дальнаука, 2004. Вып. 14. С. 7-113.
2. Комулайнен С.Ф. Тяжелые металлы в фитоперифитоне малых рек Кольского полуострова / С.Ф. Комулайнен, А.К. Морозов // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: Матер. Всеросс. науч. конф. с междунар. участием: Апатиты (14-16 октября 2008 г.). Часть 1. Апатиты, 2008. С. 217-221.
3. Кунц А.Ф. Геохимические методы поисков: Учеб. пособие. Сыктывкар: изд-во Сыктывкарского гос. ун-та, 2001. 115 с.
4. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 2007. 350 с.
5. Пучков В.Н. Тектоника Урала. Современные представления // Геотектоника, 1997. № 4. С. 42-61.

6. Садчиков А.П. Экология прибрежно-водной растительности // А.П. Садчиков, М.А. Кудряшов Учеб. пособие для студентов ВУЗов. М.: Изд-во НИИ-Природа, РЭФИА, 2004. 220 с.
7. Физиология растительных организмов и роль металлов / Под ред. Н.М. Чернавской. М.: Изд-во МГУ, 1988. 157 с.
8. Кеммерих А.О. Гидрография Северного, Приполярного и Полярного Урала. М.: АН СССР, 1961. 137 с.
9. Биоразнообразие водных и наземных экосистем бассейна реки Кожым (северная часть национального парка «Югыд ва») / отв. ред. Е.Н. Пагова // Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, 2010. 192 с.
10. Мошкова Н.А. Зеленые водоросли. Класс улотриксовые / Н.А. Мошкова, М.М. Голлербах // Определитель пресноводных водорослей СССР. Л.: Наука, 1987. Вып. 10 (1). 360 с.
11. Баринаева С.С. Атлас водорослей-индикаторов сапробности (российский Дальний Восток) / С.С. Баринаева, Л.А. Медведева Владивосток: Дальнаука, 1996. 364 с.
12. Голлербах М.М. Харовые водоросли / М.М. Голлербах, Л.К. Красавина. Определитель пресноводных водорослей СССР. Л.: Наука, 1983. Вып. 14. 190 с.
13. Баринаева С.С. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды / С.С. Баринаева, Л.А. Медведева, О.В. Анисимова. Тель-Авив, 2006. 498 с.
14. Коршиков О.А. Підклас протококові (Protococcineae) // Визначник прісноводних водоростей Української РСР. Київ, 1953. Вип. 5. 439 с.
15. Гусева Т.В. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: Справочные материалы / Т.В. Гусева, Я.П. Молчанова, Е.А. Заика, В.Н. Виниченко и др. М.: Эколайн, 2000. 96 с.
16. Моисеенко Т.И. Рассеянные элементы в поверхностных водах суши: Технофильность, биоаккумуляция и экотоксикология / Т.И. Моисеенко, Л.П. Кудрявцева, Н.А. Гашкина. Ин-т вод. проблем РАН. М.: Наука, 2006. 261 с.
17. Виноградов А.П. Поиски рудных месторождений по растениям и почвам // Тр. Биогеохим. Лаб. АН СССР. 1954. Вып. 10. С. 3-27.
18. Komulaynen S.F. Variations in phytoplankton structure in small rivers flowing over urbanized areas / Komulaynen S.F., Morozov A. K. // Water Resources, 2007. V. 34, № 3. P. 332-339.
19. Vardanyan L.G. Studies on heavy metal accumulation in aquatic macrophytes from Sevan (Armenia) and Carambolim (India) lake systems / Vardanyan L.G., Ingole B.S. // Environment International, 2006. V. 32 (2). P. 208-218.



E.N. Potapova, I.N. Sterlyagova

HEAVY METALS IN THE ALGAE-MACROPHYTES ON EXAMPLE OF MOUNTAIN-VALLEY LAKES OF URAL

A comparative study of heavy metals in algae, macrophytes, and aquatic mountain-valley lakes in the Urals under anthropogenic influence has been carried out It is

shown that algae can accumulate heavy metals from the aquatic environment and can serve as indicators of quality. Ranges of heavy metal accumulation in water

and algae macrophytes have been made.

Key words: heavy metals, mountain lake, algae, macrophytes