

Лишеномониторинг¹ территории хвостохранилища горно-добывающего предприятия (на примере хвостохранилищ Кемеровской области)

Т.С. Большунова^{1,2}, инженер, канд. геол.-мин. наук,

Л.П. Рихванов¹, профессор, д-р геол.-мин. наук

¹ Национальный исследовательский Томский политехнический университет

² ОАО «ТомскНИПИнефть»

e-mail: BolshunovaTS@gmail.com

Ключевые слова:

лишеномониторинг,
эпифитные лишайники,
хвостохранилища,
горно-добывающие предприятия,
Кемеровская область,
содержание химических элементов.

*В работе приведены данные об уровне накопления эпифитными лишайниками видов *Huroguttia physodes* и *Evernia mesomorpha*, отобранных на территориях Комсомольского и Урского хвостохранилищ Кемеровской области, 58 химических элементов, определенных методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. При анализе фоновой и кларковой концентрации элементов специфика химического состава лишайников Комсомольского хвостохранилища определяется повышенной в 2,5–17 раз концентрацией As, Cd, Sb, Hg, Au. Специализация лишайников Урского хвостохранилища проявлена аномально высокими в 3–62 раза по сравнению с фоновым и кларковым содержанием As, Cd, Sb, Hg, Au, а также Mn, Se, Ag, Ba, Eu, Pb, Bi, которые обуславливают специфику состава отходов хвостохранилищ. В результате анализа геохимических спектров лишайников территорий хвостохранилищ установлено, что опасность влияния на природную среду более высокая у отвалов Урского хвостохранилища.*

1. Введение в проблему

В настоящее время вопрос об обращении с отходами производства, в том числе отходами горнодобывающей промышленности, стоит очень остро. Отходы (хвосты) добычи и обогащения руд занимают значительные по площади земельные участки, формируя мощные зоны воздействия на компоненты природной среды с ярко выраженными геохимическими особенностями, которые отражают специфику добываемого и перерабатываемого сырья [1]. Определить суммарное действие загрязнителей на природную среду можно лишь при организации комплексного биомониторинга с использованием современных высокочувствитель-

ных биоиндикаторов [2], среди которых особо следует отметить лишайники. В связи с медленным ростом и гидролабильностью лишайников считается, что доминирующую роль в микроэлементном составе талломов² играют атмосферные осадки [3 и др.]. В результате установления тесной корреляционной связи между содержанием металлов в сухом остатке атмосферных осадков и в золе лишайников достоверно установлено, что накопление и поглощение элементов лишайниками осуществляется из атмосферного воздуха [4, 5 и др.]. Таким образом, лишайники выступают важными биоиндикаторами при изучении атмосферного переноса многих химических элементов [5 и др.].

¹ *Лишеномониторинг* — метод контроля состояния окружающей среды с применением лишайников в качестве биоиндикаторов.

² Таллом, или слоевище (от др.-греч. θάλλος — молодая, зеленая ветвь) — ботанический термин, применяемый для обозначения одноклеточного, многоклеточного или не дифференцированного на клетки (многоядерного) тела водорослей, грибов, лишайников, а также антоцеротовых и некоторых печеночных мхов.

Анализ опубликованной литературы показывает, что мало изучены возможности использовать лишайники для оценки качества окружающей среды в зоне влияния горнодобывающего производства [2]. Имеющиеся данные свидетельствуют о низком уровне знаний в этой области.

Биомониторинговые исследования, в том числе с использованием эпифитных лишайников вида *Evernia prunastri* (L.) Ach проводились в районе медно-сульфидного рудника Сао Доминигос в Португалии. Растения были проанализированы на определение концентрации эссенциальных элементов Fe, Na, K, Se и Zn и некоторых потенциально токсичных металлов (As, Cr, и Sb). В результате исследования установлено, что лишайники характеризуются максимальным уровнем накопления хрома относительно других растений, а также значительным содержанием сурьмы [6], что говорит о перспективности использовать лишайники для оценки влияния горнодобывающего производства и хвостохранилищ и отвалов пород на природную среду.

Для оценки качества атмосферного воздуха А.А. Виноградова с соавторами изучали элементный состав эпифитных лишайников Карелии. По данным исследования установлено, что вблизи Костомукшского горно-обогатительного комбината лишайники обогащены железом, скандием и рядом литогенных элементов за счет выпадения пыли, поступающей в атмосферу из карьера и отвалов комбината [7].

Изучение химического состава лишайников вида *Cetraria* вблизи свинцово-цинкового комбината Марморилик (Гренландия) и связанных с ним источников загрязнения показало резкое уменьшение содержания Ag, As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn по мере удаления от источника загрязнения [8].

Трансплантационные методы, т. е. пересадка лишайников в загрязненные районы, были применены в уральском городе Карабаш — одном из самых загрязненных городов в мире. Лишайники *Hypogymnia physodes* были трансплантированы по трансекте³ длиной 60 км через город. В результате установлены повышенные уровни содержания 25 химических элементов, связанные с выбросами металлургических объектов или с пылью отвалов (хвостохранилищ) рудников [9–14].

В целом можно заключить, что большинство исследований направлено на оценку влияния эмиссии от металлургических заводов или горно-обогатительных комбинатов, а оценка влияния непосредственно хвостохранилищ на состояние атмосферного воздуха

с использованием данных по лишайникам проводится реже. Поэтому необходимо получить новые данные из районов с подобной техногенной нагрузкой.

2. Методы мониторинга

Биомониторинг с использованием лишайников для оценки степени воздействия Урского и Комсомольского хвостохранилищ Кемеровской области был выполнен во второй декаде июля 2015 г. Карта-схема отбора проб лишайников представлена на рис. 1.

Первый объект лихеномониторинга — территория хвостохранилища бывшего Комсомольского золотоизвлекательного завода в пос. Комсомольск, где методом цианирования перерабатывались золото-арсенопирит-кварцевые руды, а также золото-содержащие отходы Кадамжайского сурьмяного комбината (Киргизстан) и Бериккульской золотоизвлекательной фабрики [15].

Хвостохранилище расположено в естественной котловине в 250–500 м от жилой зоны поселка. Оно занимает площадь 146 тыс. м², содержит примерно 1,1 млн м³ складированных отходов и является усыхающим техногенным озером. С юго-западной стороны хвостохранилище ограничено насыпной дамбой. Отходы содержат сульфидные минералы: пирит, сфалерит, галенит, пирротин, арсенопирит [15].

Урское хвостохранилище отходов обогащения золотополиметаллических серноколчеданных руд и руд зоны окисления Ново-Урского месторождения расположено на территории Урского рудного поля; условия и состав отходов подробно описаны в ряде работ [11–15], кроме того изучены и биогеохимические свойства мхов территории хвостохранилища [16], что позволяет сопоставлять полученные нами данные. Эпифитные лишайники отбирали методом средней пробы на высоте 1,5–2 м от поверхности земли с примерно одновозрастных деревьев. При пробоотборе и пробоподготовке придерживались рекомендаций, описанных во многих публикациях, например Р. Баргальи [5 и др.].

В каждой точке отбирали лишайники двух видов: *Hypogymnia physodes* и *Evernia mesomorpha*. Эпифитный лишайник *Hypogymnia physodes* — один из наиболее используемых в мониторинговых исследованиях вид в связи с его широкой распространенностью и толерантностью к SO₂ и металлам [17]. По мнению А.Ф. Мейсуровой [18], в целях биоиндикации и биомониторинга наиболее перспективно использовать *Hypogymnia physodes*, который позволяет идентифи-

³ Трансекта — отмеренная на территории экосистемы узкая прямоугольная площадка для изучения размещения видов, численности, проективного покрытия, продуктивности и других исследований.

цировать широкий спектр загрязнителей, даже при низком уровне концентрации загрязнителей в воздухе.

В результате проведенных исследований по накопительной способности лишайников-эпифитов предложен экологический ряд: *Evernia mesomorpha* > *Parmeliopsis ambigua* и пр. [19]. По нашим исследованиям, также предпочтительнее использовать вид *Evernia mesomorpha*, поскольку он обладает повышенной аккумуляторной способностью по сравнению с другими изученными видами (*Hypogymnia physodes*, *Lobaria Pulmonaria*) [20]. Для выполняемых эколого-геохимических работ выбрано два вида лишайников — *Evernia mesomorpha* и *Hypogymnia physodes*, обладающих хорошей способностью к аккумуляции загрязнителей и широко распространенных практически во всех ландшафтно-экологических зонах, что позволяет оценивать и сопоставлять полученные результаты с приведенными в литературе данными.

Всего отобрано 20 проб лишайников в районе, прилегающем к Урскому хвостохранилищу (11 проб лишайников *Evernia mesomorpha* и 9 — *Hypogymnia physodes*) и 29 проб в районе Комсомольского хвостохранилища (13 — *Evernia mesomorpha* и 16 — *Hypogymnia physodes*). Фоновая проба для территории влияния Урского хвостохранилища была отобрана в районе озера Урское в 4 км к юго-востоку от хвостохранилища вне источников прямого антропогенного воздействия. Фоновая проба для Комсомольского хвостохранилища отобрана в пос. Макарацкий на берегу р. Кия в 10 км на юго-запад от хвостохранилища.

Для упаковки проб использовали крафт-пакеты «Стерит». Подготовка проб для количественного элементного анализа включала просушивание при температуре окружающей среды, механическое измельчение, взятие навески и разложение в концентрированной азотной кислоте по стандартной методике.

Определение валового состава 67 макро- и микроэлементов в образцах сухого вещества лишайников проводили методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в аккредитованном химико-аналитическом центре «Плазма» (г. Томск). Ошибка определения не превысила 10%. Содержание бериллия, германия, рутения, родия, индия, рения, осмия, иридия ниже предела обнаружения метода во всех пробах. Средняя концентрация остальных химических элементов в лишайниках Урского и Комсомольского хвостохранилищ представлена в табл. 1 и 2.

Обработка результатов анализа проводилась с использованием программных продуктов Microsoft Word, Microsoft Excel, CorelDRAW, STATISTIKA, Surfer. По результатам были рассчитаны статистические параметры распределения элементов: среднее, минимальное и максимальное значение, стандартное отклонение, коэффициент вариации, традиционные для биогеохимических исследований показатели. Были подсчитаны коэффициенты биологического поглощения ($K_b = C/K_{зк}$) — отношение содержания элемента в лишайнике к кларку⁴ концентрации в верхней континентальной коре (кларк по: Тейлор, и Мак-Леннон, 1988; Григорьев, 2003). Рассчитаны коэффициенты концентрации ($K_k = C/C_f$) — отношение содержания

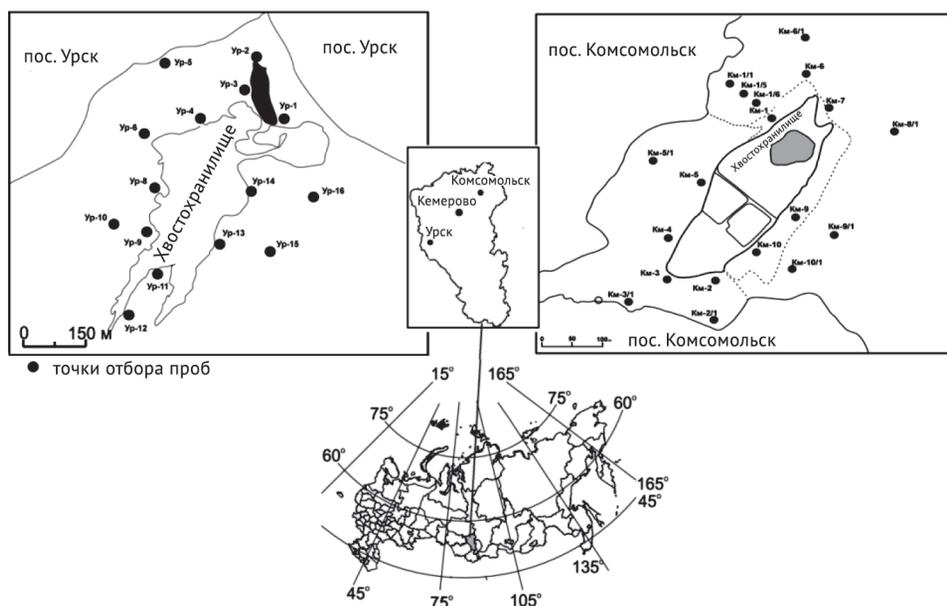


Рис. 1. Карта-схема участков отбора проб лишайников в районе Комсомольского и Урского хвостохранилищ

Таблица 1.

Геохимическая характеристика проб лишайников Комсомольского хвостохранилища (сухое вещество, мг/кг, n = 29)

Эле- мент	Хср		Фон		Кларк в з. к.	Кс = Сс/ Сфон (Нур.)	Кб = Сс/ Кзк (Нур.)	Эле- мент	Хср		Фон		Кк = Сс/ Сфон (Нур.)	Кб = Сс/ Кзк (Нур.)
	Ever.	Нур.	Ever.	Нур.					Ever.	Нур.	Ever.	Нур.		
Li	0,44	0,67	0,73	0,83	20	0,80	0,03	In	0,003	0,01	0,00	0,01	0,86	0,10
B	0,73	3,83	2,19	1,66	15	2,30	0,26	Sn	0,18	0,24	0,22	0,31	0,77	0,04
Na	173,67	280,02	468,82	509,63	28900	0,55	0,01	Sb	0,80	3,73	0,19	0,21	17,39	18,66
Mg	425	857	740	993	13300	0,86	0,06	Cs	0,11	0,15	0,14	0,20	0,75	0,04
Al	1069	1762	2222	2887	80400	0,61	0,02	Ba	14,2	38,8	60,4	46,8	0,8	0,1
Si	1921	2984	2963	5238	308000	0,6	0,01	La	0,45	1,03	0,92	1,30	0,79	0,03
P	792	954	1088	1219		0,8		Ce	0,85	2,10	1,74	2,72	0,77	0,03
K	3136	3717	3945	4011	28000	0,93	0,13	Pr	0,10	0,25	0,21	0,34	0,73	0,03
Ca	1124	15840	5573	15856	30000	1,00	0,5	Nd	0,38	0,99	0,80	1,32	0,75	0,04
Sc	0,37	0,55	0,50	0,99	11	0,56	0,05	Sm	0,08	0,19	0,18	0,27	0,72	0,04
Ti	158	211	240	387	3000	0,5	0,1	Eu	0,02	0,05	0,04	0,07	0,72	0,06
V	1,83	3,18	4,31	5,60	60	0,57	0,05	Gd	0,08	0,22	0,18	0,30	0,74	0,06
Cr	4,5	5,4	7,2	8,0	35	0,68	0,15	Tb	0,01	0,03	0,03	0,04	0,79	0,05
Mn	50,9	204,4	59,9	122,4	600	1,7	0,3	Dy	0,06	0,17	0,14	0,22	0,75	0,05
Fe	718	1534	1592	2698	35000	0,6	0,04	Ho	0,01	0,03	0,03	0,04	0,72	0,04
Co	0,34	1,28	0,79	1,62	10	0,79	0,13	Er	0,04	0,10	0,08	0,13	0,78	0,04
Ni	0,89	1,74	0,73	1,74	20	1,00	0,09	Tm	0,01	0,01	0,01	0,02	0,76	0,04
Cu	6,09	7,43	6,62	10,72	25	0,69	0,30	Yb	0,03	0,08	0,07	0,12	0,70	0,04
Zn	46,1	84,8	46,7	66,8	71	1,27	1,19	Lu	0,005	0,014	0,014	0,021	0,653	0,043
Ga	0,36	0,61	0,68	0,96	17	0,64	0,04	Hf	0,04	0,07	0,09	0,12	0,59	0,01
Ge	0,05	0,07	0,07	0,07	2	0,97	0,04	Ta	0,01	0,02	0,03	0,05	0,48	0,01
As	3,14	6,79	2,08	2,04	2	3,33	4,53	W	0,05	0,11	0,11	0,10	1,14	0,06
Rb	6,33	7,86	4,70	6,35	112	1,24	0,07	Pt	0,008	0,008	нпо	нпо		
Sr	8,21	42,64	33,98	55,25	350	0,77	0,12	Au	0,005	0,013	нпо	нпо		6,30
Y	0,32	1,00	0,73	1,47	22	0,68	0,05	Hg	0,10	0,11	0,08	0,05	2,50	1,89
Zr	2,32	3,55	5,52	7,77	190	0,46	0,02	Tl	0,01	0,03	0,02	0,03	0,91	0,04
Nb	0,21	0,32	0,48	0,77	25	0,41	0,01	Pb	3,3	16,5	4,4	10,0	1,6	0,8
Mo	0,11	0,17	0,18	0,24	2	0,71	0,11	Bi	0,04	0,11	0,07	0,13	0,86	0,87
Ag	0,04	0,05	0,03	0,05	0,05	1,05	1,07	Th	0,103	0,155	0,197	0,189	0,821	0,014
Cd	0,15	0,97	0,18	0,57	0,10	1,70	9,87	U	0,062	0,079	0,098	0,104	0,761	0,028

Примечание. Здесь и далее: n – количество проб, * по Тейлору и Мак-Леннону, 1988; ** по Wedepohl, 1995 (Григорьев, 2003); Ever. – *Evernia mesomorpha*; Нур. – *Nurogymnia physodes*, Кк – отношение содержание элементов в лишайнике хвостохранилища к содержанию в фоновом районе; Кб – отношение содержание элемента в лишайнике хвостохранилища к кларковому содержанию в земной коре; нпо – ниже предела обнаружения; з. к. – земная кора.

Таблица 2

Содержание элементов (Кб и Кк > 2,5) в лишайниках территории Комсомольского хвостохранилища (n = 29)

	Хср	Ст. отклон.	Коефф. вар.	Мин	Макс	Хср		Фон		Кларк	Кк (Нур.)	Кб (Нур.)
						Ever.	Нур.	Ever.	Нур.			
As	5,15	4,73	0,92	1,62	24,19	3,14	6,79	2,08	2,04	2	3,33	4,5
Cd	0,60	0,51	0,84	0,08	2,12	0,15	0,97	0,18	0,57	0,10	1,70	9,9
Sb	2,42	4,68	1,93	0,17	21,64	0,80	3,73	0,19	0,21	0,2	17,4	18,7
Au	0,010	0,007	0,748	0,004	0,024	0,005	0,013	нпо	нпо	0,002	-	6,3
Hg	0,11	0,03	0,32	0,05	0,17	0,10	0,11	0,08	0,05	0,06	2,50	1,9



элемента в лишайниках районов хвостохранилищ к содержанию элементов в фоновых пробах.

Для всей совокупности выборок проб лишайников рассчитывались коэффициенты парной корреляции Пирсона, по значениям которых были построены дендрограммы корреляционной матрицы. Для получения информации о возможных источниках химических элементов выборки анализировались с помощью метода главных компонент (РСА) — многомерного обобщенного метода факторного анализа.

3. Результаты мониторинга

Полученные данные о химическом составе эпифитных лишайников видов *Evernia mesomorpha* и *Hypogymnia physodes* из районов рассматриваемых хвостохранилищ представлены в табл. 1 и 2. Для сопоставления полученных результатов представлены фоновая концентрация химических элементов лишайников в этих районах и кларковое содержание в земной коре. Вычисленные коэффициенты биологического поглощения (Кб) элементов относительно содержания в земной коре и коэффициенты концентрации (Кк) элементов — нормирование на фоновое содержание позволили определить приоритетные элементы-загрязнители для каждого района. Говоря о приоритетных загрязнителях, необходимо отметить, что нами принимаются во внимание элементы, для которых Кб и Кк больше 2,5.

При сравнении накопительной способности двух видов лишайников, отобранных на территории Комсомольского хвостохранилища, установлено, что более высокие уровни накопления мышьяка, сурьмы характерны для лишайников вида *Hypogymnia physodes* (превышение в 2–4,6 раза по сравнению с видом *E. mesomorpha*). Содержание марганца, бария, свинца, выше в 1,7–2,9 раза для лишайников этого вида, отобранных на Урском месторождении. Что касается содержания в лишайниках Комсомольского и Урского хвостохранилищ ртути, мышьяка, серебра, то можно говорить, что по ним не обнаруживаются достоверных отличий. Таким образом, Кб и Кк для этих районов подсчитаны при использовании показателей вида *Hypogymnia physodes*, характеризующегося преимущественно максимальной концентрацией.

Для лишайников района Комсомольского хвостохранилища выделяются повышенные значения Кк и Кб для As, Cd, Sb, Au, Hg (табл. 2). Максимальными значениями Кк и Кб характеризуется Sb — 17,4

и 18,7 соответственно. Содержание Cd выше в 9,9 раза по сравнению с кларковым содержанием, Au — в 6,3, в фоновой пробе концентрация золота ниже предела обнаружения метода. Повышенная концентрация мышьяка, золота, сурьмы в лишайниках изучаемого района объясняется спецификой состава содержимого хвостохранилища: сульфидные минералы, отходы цианирования золото-арсенипит-кварцевых руд [15]. Основной путь трансформации мышьяка в захороненных твердых отходах золотообогатительного комбината пос. Комсомольск — окисление остаточного арсенипита с последующим осаждением и соосаждением на гидроксиде Fe (III) в виде арсената кальция [21]. В поровых и поверхностных водах хвостохранилища происходит процесс биометилирования неорганических соединений мышьяка, при котором в качестве промежуточного вещества образуется его наиболее токсичная форма — арсенит-ион [20].

По данным [22] установлено, что лишайники характеризуются максимальными уровнями накопления сурьмы относительно других растений, что, вероятно, обусловлено их биохимическими особенностями. Принимая во внимание значение стандартного отклонения и коэффициента вариации, мышьяк и сурьма в пробах распределяются неоднородно.

При сопоставлении полученных значений концентрации с аналогичными данными исследования лишайников *Evernia mesomorpha* на территории влияния нефтедобывающего комплекса Томской области [20, 23, 24] установлено превышение мышьяка, сурьмы, золота, серебра в 4–16 раз в лишайниках Комсомольского хвостохранилища, что подтверждает специфичность данных элементов для рассматриваемого района, а также указывает на избыточность их поступления в районе хвостохранилища.

Диаграмма корреляционной матрицы (рис. 2) отражает множественные корреляционные связи между химическими элементами в лишайниках Комсомольского хвостохранилища. Значимые связи ($r = 0,50$) проявляются для всех литофильных элементов, что говорит о поглощении элементов лишайниками в результате выпадения почвенных пылевых аэрозолей. Среди корреляционных связей отчетливо выделяется значимая связь Ag-Au-Sb-As, соответствующая специфике отходов Комсомольского хвостохранилища.

Сопряженный характер распределения концентрации мышьяка и сурьмы на территории Комсомольского хвостохранилища представлен на рис. 3. При

⁴ Для характеристики среднего содержания элементов в земной коре используется понятие «кларк» — термин, предложенный академиком А.Е. Ферсманом в честь Ф.У. Кларка, впервые оценившего среднее содержание 10 породообразующих элементов в земной коре.

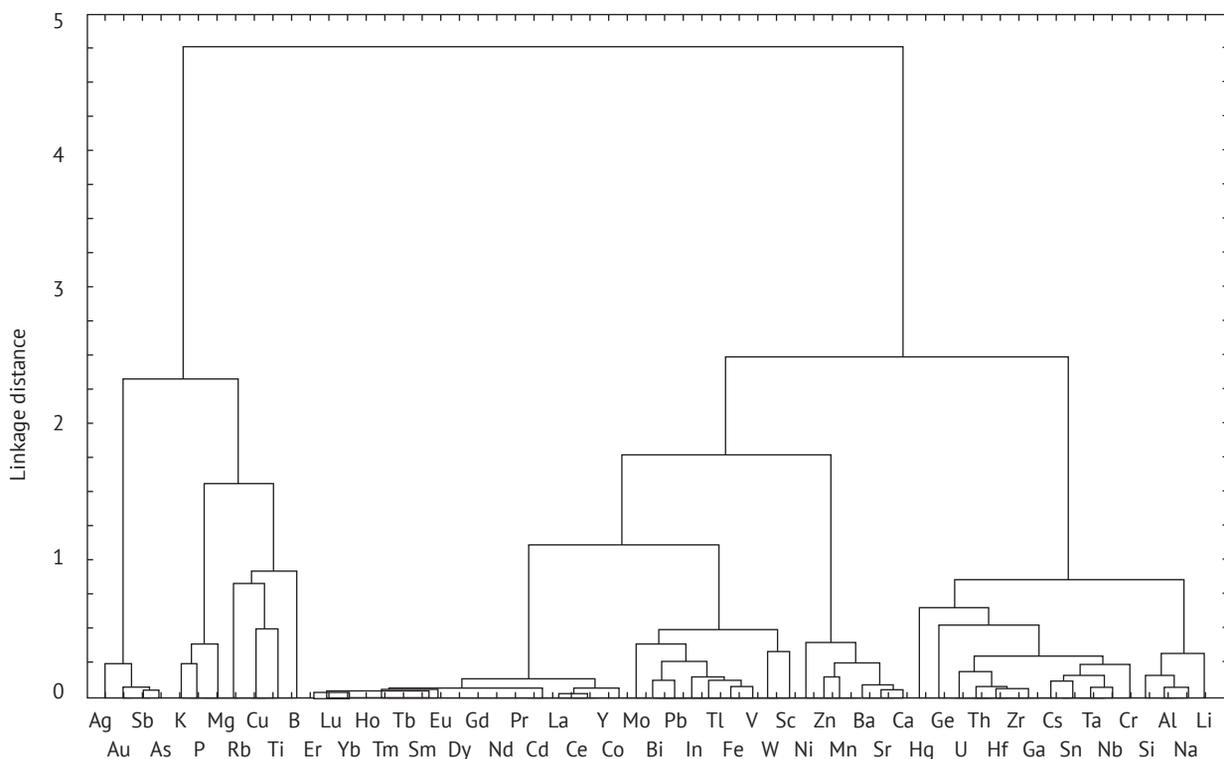


Рис. 2. Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра лишайников территории Комсомольского хвостохранилища

анализе пространственного распределения (ареалов концентрации) рассматриваемых элементов в лишайниках можно говорить о максимальном содержании в северо-восточном направлении от хвостохранилища, в зоне, где расположено озеро, представляющее собой отработанный ранее карьер, заполненный водой,

которое используется местными жителями, особенно детьми, в рекреационных целях.

Следует отметить, что согласно санитарным нормам, санитарно-защитная зона для отвалов и шламонакопителей при добыче цветных металлов (и подобных объектов) должна составлять 500 м

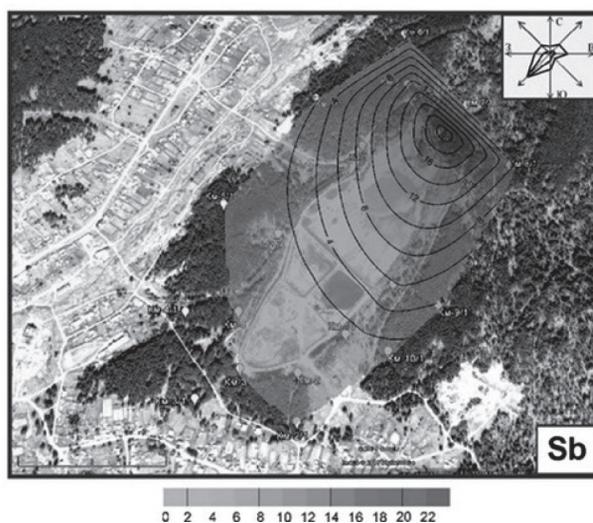
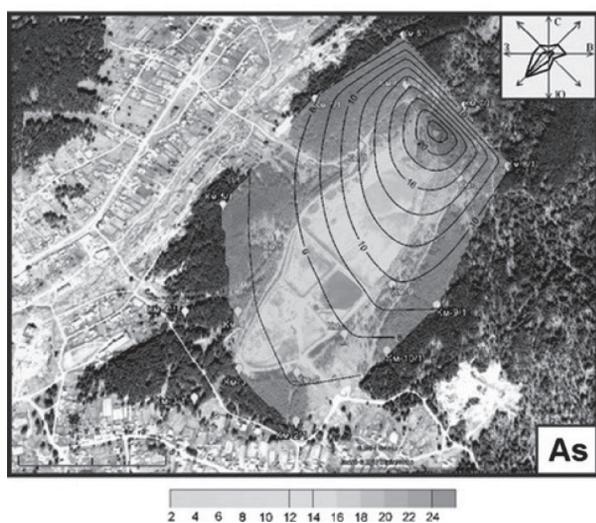


Рис. 3. Ареал распространения мышьяка и сурьмы (в мг/кг) на территории Комсомольского хвостохранилища по данным опробования лишайника вида *Hyrogymnia physodes* (приведена среднегодовая роза ветров)

(«О введении в действие новой редакции санитарно-эпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200–03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов», 2014), а как было отмечено выше, хвостохранилище расположено в 250–500 м от жилой зоны поселка.

Максимальная концентрация элементов согласуется в пространстве с преобладающим направлением ветра. Вероятно, в настоящее время озеро и прилегающая территория в результате процессов гипергенеза претерпевают преобразование сульфидов в другие минеральные формы. Содержащиеся в них химические элементы мигрируют, загрязняя все компоненты природной среды. Поскольку лишайники отражают многолетнее загрязнение изучаемых территорий, их химический состав тесно

коррелирует с загрязнением атмосферного воздуха и формируется, вероятно, при переносе мельчайших частиц пород и почв, а также при поглощении лишайниками поступающих в атмосферу частиц в результате процессов мокрого и сухого осаждения.

Средние значения изученных химических элементов в пробах лишайников района влияния Урского хвостохранилища и фоновая концентрация Кб и Кк приведены в табл. 3.

По опубликованным данным известно, что при хранении материала отходов переработки сульфидсодержащих руд формируются кислые дренажные растворы с высокой концентрацией Cu, Pb, Zn, Fe, Cd. Высвобождение и миграция этих элементов приводят к их концентрированию в объектах природной среды [12, 16, 25]. Результаты наших исследований показывают, что помимо перечисленных

Таблица 3

Геохимическая характеристика проб лишайников Урского хвостохранилища (сухое вещество, мг/кг, n=20)

Элемент	Хср		Фон		Кк (Нур.)	Кларк	Кб (Нур.)	Элемент	Хср		Фон		Кк (Нур.)	Кб (Нур.)
	Ever.	Нур.	Ever.	Нур.					Ever.	Нур.				
Li	0,88	1,26	0,61	1,06	1,19	20,0	0,06	Cd	0,22	0,67	0,28	0,48	1,41	6,82
B	2,47	3,53	3,60	1,73	2,04	15,0	0,24	In	0,01	0,01	0,01	0,01	1,25	0,14
Na	291	498	225	342	1,45	28900	0,02	Sn	0,30	0,34	0,32	0,29	1,19	0,06
Mg	581	889	509	882	1,01	13300	0,07	Sb	5,15	5,50	0,26	0,25	21,91	27,51
Al	2069	3505	1897	2534	1,38	80400	0,04	Cs	0,19	0,24	0,28	0,22	1,09	0,06
Si	4574	7908	3376	3225	2	308000	0	Ba	968,6	1643,5	23,2	26,4	62,3	3,0
P	1170	1263	747	959	1			La	0,88	1,50	0,96	0,91	1,64	0,05
K	3822	4168	3327	4063	1,03	28000	0,15	Ce	1,71	2,96	1,98	1,89	1,57	0,05
Ca	2080	10725	2056	17705	1	30000	0	Pr	0,20	0,35	0,24	0,23	1,52	0,05
Sc	0,66	0,79	0,58	0,60	1,32	11	0,07	Nd	0,79	1,38	0,90	0,90	1,54	0,05
Ti	160,0	214	132	178	1,2	3000	0,1	Sm	0,16	0,28	0,17	0,16	1,74	0,06
V	3,05	4,94	3,17	3,85	1,28	60	0,08	Eu	0,08	0,10	0,04	0,04	2,66	0,12
Cr	6,58	7,07	5,94	7,36	0,96	35	0,20	Gd	0,17	0,30	0,21	0,19	1,59	0,08
Mn	135,3	392,8	26,7	40,2	9,8	600	0,7	Tb	0,02	0,04	0,03	0,03	1,49	0,06
Fe	1593	2944	1180	1379	2,1	35000	0,1	Dy	0,12	0,23	0,14	0,15	1,58	0,07
Co	0,58	1,33	0,62	1,17	1,14	10,0	0,13	Ho	0,02	0,04	0,03	0,03	1,58	0,06
Ni	0,83	1,65	0,59	0,97	1,70	20,0	0,08	Er	0,07	0,12	0,09	0,07	1,75	0,05
Cu	7,71	10,49	5,27	7,14	1,47	25,0	0,42	Tm	0,01	0,02	0,01	0,01	1,83	0,06
Zn	63,9	124,6	38,9	65,1	1,91	71,0	1,75	Yb	0,07	0,12	0,08	0,07	1,82	0,05
Ga	0,66	0,99	0,68	0,73	1,36	17,0	0,06	Lu	0,011	0,019	0,012	0,012	1,557	0,060
Ge	0,08	0,11	0,08	0,08	1,40	1,60	0,07	Hf	0,09	0,13	0,11	0,07	1,79	0,02
As	4,58	5,74	2,30	1,39	4,13	1,50	3,83	Ta	0,03	0,04	0,03	0,03	1,49	0,02
Se	3,55	3,68				0,05	73,50	W	0,09	0,13	0,08	0,25	0,53	0,07
Rb	6,34	7,91	9,70	9,15	0,87	112,0	0,07	Au	0,014	0,011	нпо	нпо	нпо	5,362
Sr	14,2	34,8	9,8	17,9	1,9	350,0	0,10	Hg	2,42	1,72	0,18	0,11	15,98	28,65
Y	0,65	1,20	0,65	0,81	1,47	22,0	0,05	Tl	0,05	0,08	0,06	0,05	1,57	0,10
Zr	4,42	6,25	4,81	4,33	1,44	190,0	0,03	Pb	44,6	76,6	8,0	8,2	9,3	3,8
Nb	0,37	0,53	0,43	0,38	1,41	25,0	0,02	Bi	0,37	0,40	0,09	0,15	2,74	3,07
Mo	0,23	0,25	0,28	0,23	1,10	1,50	0,17	Th	0,227	0,299	0,292	0,232	1,290	0,028
Ag	0,63	0,62	0,04	0,05	13,61	0,05	12,37	U	0,112	0,160	0,132	0,078	2,062	0,057

элементов, в лишайниках Урского хвостохранилища концентрируются и другие металлы в высокой концентрации, что обусловлено их поступлением из атмосферы.

В табл. 4 представлена информация по элементам, накапливаемым лишайниками Урского хвостохранилища, для которых наблюдаются коэффициенты концентрации выше 2,5 (при нормировании на фоновое и кларковое содержание): марганец, мышьяк, селен, серебро, кадмий, сурьма, барий, европий, золото, ртуть, свинец, висмут. Схожий спектр химических элементов с повышенной концентрацией наблюдается во мхах, произрастающих на территории Урского хвостохранилища [16]. Важно отметить, что большинство установленных типоморфных химических элементов относятся к 1–3-му классам опасности, что говорит о существенной трансформации природной среды в районе хвостохранилища, к тому же отвал расположен в пределах пос. Урск, и в 100–200 м от него находятся дома частного сектора, что усугубляет экологическую обстановку в рассматриваемом районе.

Накопление мышьяка, сурьмы, серебра, золота в лишайниках обусловлено элементным составом сульфидных руд месторождения. По данным И.О. Щербаковой с соавторами, содержание металлов в захороненном торфе из области воздействия хвостохранилища в 4–6 раз выше, чем в почвах окрестностей [12]. Содержание элементов в лишайниках района хвостохранилища по сравнению с фоновым районом выше в 3–62 раза.

Согласно опубликованным данным, в рудах Ново-Урского месторождения содержание ртути было достаточно высоким (в первичных ≈ 100 мкг/г, в окисленных ≈ 20 –30 мкг/г), что привело к формированию

повышенного местного фона для ртути в природной среде и на удалении от него [26]. Среднее содержание ртути в лишайниках составляет 2,012 мкг/г. Из опубликованных материалов известно, что Hg в наземных частях растений находится в метилированной форме (0,59–2,75 мкг/г); в корнях растений на удалении от хвостохранилища Hg также находится в метилированной форме [26].

Максимальное содержание золота в лишайнике Урского хвостохранилища 0,032 мкг/г, серебра — 1,98 мкг/г. Содержание золота в рудах достигало 4 мкг/г [11]. И.Н. Мягкой с соавторами приводят данные о том, что содержание Au в торфе в среднем в 10 раз выше, чем в самих отходах. Среднее содержание Ag в обоих типах вещества близко, но в торфе установлены локальные участки накопления элемента, где его содержание может превышать 500 г/т [11]. По данным А.А. Богущ с соавторами, среднее содержание мышьяка в отходах — 180 мг/кг, сурьмы — 220 мг/кг [27]. По нашим данным, концентрация мышьяка и сурьмы в лишайниках составляет 5,14 и 5,36 мкг/г соответственно. Необходимо отметить, что максимальные коэффициенты концентрации в лишайниках отмечаются для сурьмы (21,9) и ртути (27,5), что обуславливает их доминирующий характер.

Повышенное по сравнению с местным фоном содержание бария в лишайниках (превышение в 62 раза) определяется баритовым составом руд Урского рудного узла [16, 28]. Повышенное содержание свинца в лишайниках определяется составом руд месторождения, в которых галенит входит в состав основных минералов.

При оценке данных Урского хвостохранилища методом факторного анализа (рис. 4) выделяются два ос-

Таблица 4

Содержание элементов (Кб и Кк >2.5) в лишайниках территории Урского хвостохранилища (n = 20)

Элемент	Урское, содержание в мкг/г											
	Хср	Ст. откл.	Коэфф. вар.	Мин	Макс	Хср		Фон		Кларк	Кк (Нур.)	Кб (Нур.)
						Ever.	Нур.	Ever.	Нур.			
Mn	249	191	0,8	59,8	650	135	392	26,7	40,2	600	9,8	0,7
As	5,14	3,93	0,76	1,79	14,87	4,58	5,74	2,30	1,39	1,50	4,13	3,8
Se	3,61	2,52	0,70	1,03	9,12	3,55	3,68	нпо	нпо	0,05	—	73,5
Ag	0,63	0,62	0,97	0,09	1,98	0,63	0,62	0,04	0,05	0,05	13,61	12,4
Cd	0,42	0,29	0,70	0,16	1,25	0,22	0,67	0,28	0,48	0,10	1,41	6,8
Sb	5,36	5,83	1,09	0,56	19,70	5,15	5,50	0,26	0,25	0,20	21,91	27,5
Ba	1286	1293	1	158	5653	969	1643	23,2	26,4	550,0	62,3	3,0
Eu	0,09	0,09	1,00	0,02	0,33	0,08	0,10	0,04	0,04	0,88	2,66	0,12
Au	0,012	0,009	0,732	0,005	0,032	0,014	0,011	нпо	нпо	0,002	—	5,4
Hg	2,12	1,78	0,84	0,39	7,17	2,42	1,72	0,18	0,11	0,06	15,98	28,7
Pb	60,6	58,3	1,0	8,5	197,7	44,6	76,6	8,0	8,2	20,0	9,3	3,8
Bi	0,39	0,33	0,85	0,09	1,22	0,37	0,40	0,09	0,15	0,13	2,74	3,07

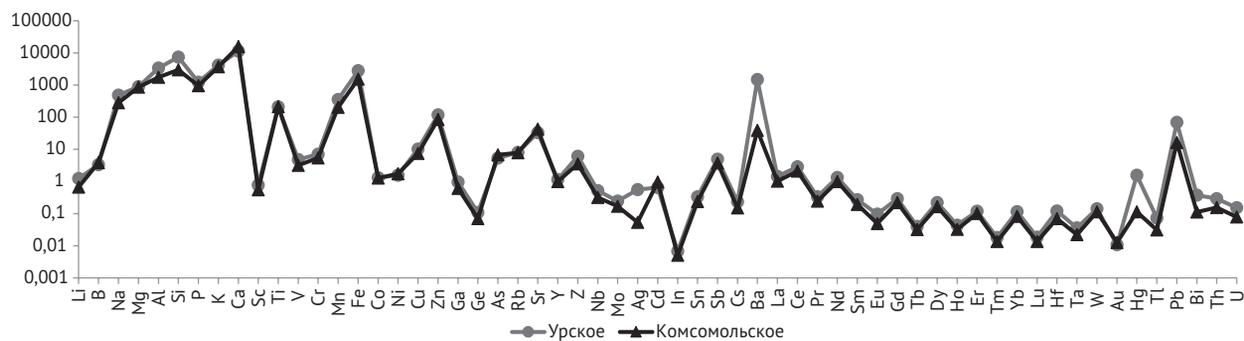


Рис. 6. Среднее содержание химических элементов в пробах лишайников вида *Hypogymnia physodes* на территории Комсомольского и Урского хвостохранилищ, мкг/г, шкала логарифмическая

что подтверждается выводами о распределении химических элементов во мхах Урского хвостохранилища [16]. Для наглядности распределение концентрации мышьяка, ртути на прилегающей территории Урского хвостохранилища представлено на рис. 5.

Сравнительный анализ геохимического спектра лишайников хвостохранилищ (при использовании показателей Кк и Кб) показывает их схожесть и отличия по набору серебра, бария, ртути и свинца в пробах лишайников Урского хвостохранилища (рис. 6). На формировании химического состава лишайников сказывается специфика добываемых руд и технология извлечения и переработки: Урск — барит-колчеданно-полиметаллическая формация [28], карьерный способ добычи; Комсомольск — кварц-золото-сульфидная формация руд, подземная добыча.

4. Заключение

На основании проведенного исследования можно сделать вывод, что лишенофлора является надежным биоиндикатором, отражает влияние хвостохранилищ горно-обогатительных предприятий на природную среду в целом и на атмосферный воз-

дух в частности. При анализе фоновой и кларковой концентрации химических элементов специфика химического состава лишайников Комсомольского хвостохранилища определяется повышенным концентрированием мышьяка, кадмия, сурьмы, ртути, золота.

Специализация лишайников Урского хвостохранилища проявлена более высоким содержанием вышеперечисленных элементов (на порядок выше и более по сравнению с содержанием в лишайниках Комсомольского хвостохранилища), а также марганца, селена, серебра, бария, европия, свинца, висмута, которые избыточно накапливаются только в лишайниках Урского хвостохранилища и обуславливают специфику состава отходов хвостохранилищ. При сопоставлении геохимических спектров лишайников двух хвостохранилищ можно заключить, что степень трансформации природной среды более ярко выражена в районе влияния Урского хвостохранилища.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 15-17-10011.

ЛИТЕРАТУРА

1. Усманова Т.В., Таловская А.В., Монголина Т.А., Павлов И.П. Оценка вклада угольных шахт в трансформацию состава природных сред (на примере шахты «Хакасская») // Вестник науки Сибири. — 2012. — № 4 (5). — С. 4–16.
2. Крупская Л.Т., Саксин Б.Г., Бондаренко Е.Н., Ершов М.А., Бабурин А.А. Биоиндикация загрязнения экосистем в зоне влияния золотодобычи на юге Дальнего востока // Электронный журнал «Исследовано в России». — 2004. — <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2004/180.pdf> (дата обращения: 25.12.2015).
3. Вайнштейн Е.А. Некоторые вопросы физиологии лишайников. III. Минеральное питание // Ботан. журн. — 1982. — Т. 67. — N5. — С. 561–571.
4. Nash T.H. Lichen biology. — Cambridge: University Press, 1996. — 303 p.
5. Bargagli R. Trace Elements in Terrestrial Plants: An Ecophysiological Approach to Biomonitoring and Biorecovery. B.: Springer, 1998. — 324 p.
6. Hossain M.A., Anawar H.M., Canha N., Santa-Regina I., Freitas M.C., Adaptation, tolerance, and evolution of plant species in a pyrite mine in response to contamination level and properties of mine tailings: sustainable rehabilitation, J. Soils Sediments, 2013. — Vol. 13. — P.730–741.
7. Виноградова А.А., Замбер Н.С., Кутенков С.А. Источники тяжелых металлов, накапливающихся в кустистых эпифитных лишайниках Карелии // Современные пробле-

- мы науки и образования. — 2012. — № 5. — URL: www.science-education.ru/105-6962 (дата обращения: 25.12.2015)
8. Шевченко В.П., Политова Н.В., Айбулатов Н.А. Элементный состав мхов и лишайников о-ва Вайгач как индикатор выпадения вещества из атмосферы // Арктика и Антарктика. — Вып. 3 (37. М.: Наука. 2004. — 247с.
 9. Purvis O. W., Chimonides P.J., Jones G.C., Mikhailova I.N., Spiro B., Weiss D.J., Williamson B.J. Lichen biomonitoring near Karabash Smelter Town, Ural Mountains, Russia, one of the most polluted areas in the world // Proc. R. Soc. Lond. B., 2004. — Vol. 27. — P. 221–226. — <http://rspb.royalsocietypublishing.org> (дата обращения: 25.12.2015).
 10. Purvis O. W., Williamson B.J., Spiro B., Udachin V., Mikhailova I.N., Dolgoplova A. Lichen monitoring as a potential tool in environmental forensics: case study of the Cu smelter and former mining town of Karabash, Russia // Environmental and Criminal Geoforensics. London: Geological Society, London, Special Publications, 2013 — Vol. 384. — P. 133–136.
 11. Мягкая И.Н., Лазарева Е.В., Густайтис М.А., Щербов Б.Л., Жмодик С.М. Перераспределение Au и Ag между отходами обогащения руд Ново-Урского месторождения и торфом в системе хвостохранилища // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. — 2014. — № 3с-2. — С. 123–127.
 12. Щербанова И.Н., Густайтис М.А., Лазарева Е.В., Богуш А.А. Миграция тяжелых металлов (Cu, Pb, Zn, Fe, Cd) в ореоле рассеяния Урского хвостохранилища (Кемеровская область) // Химия в интересах устойчивого развития. — 2010. — № 18. — С. 621–633.
 13. Нестеренко Г.В., Осинцев С.Р., Портников Д.И. и др. Формирование и источники питания россыпей Северо-Восточного Салаира // Условия образования, принципы прогноза и поисков золоторудных месторождений. Тр. ИГиГ, Вып. 533. Новосибирск: Наука, 1983. С. 166–194.
 14. Густайтис М.А., Мягкая И.Н., Щербов Б.Л., Лазарева Е.В. Миграция ртути, в техногенных системах с экстремально высокими содержаниями ртути (Урское хвостохранилище, Кемеровская область) / Материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т геологии и минералогии им. В.С. Соболева. — [Электрон. ресурс: октябрь 2014]. — Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2014. — 759 с. — Режим доступа: <http://shakhov.igm.nsc.ru/pdf/> (дата обращения: 20.01.2016).
 15. Бортникова С.Б. Геохимия техногенных систем / С.Б. Бортникова, О.Л. Гаськова, Е.П. Бессонова; ИГМ СО РАН. — Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2006. — 169 с.
 16. Межибор А.М., Рихванов Л.П. Биогеохимическая характеристика мхов *Polytrichum commune* на территории Урского хвостохранилища в Кемеровской области // Безопасность в техносфере. — 2016. — № 1. — С. 3–11.
 17. Garty J. Biomonitoring atmospheric heavy metals with lichens: Theory and application // Crit. Rev. Plant Sci. — 2001. — Vol. 20. — P. 309–371.
 18. Мейсунова А.Ф. Биомониторинг атмосферного загрязнения с использованием ИК спектрального анализа индикаторных видов лишайников (на примере Тверской области): автореф. дис. ... докт. биол. наук. — Тверь, 2014. — 42 с.
 19. Сафранкова Е.А. Комплексная лишеноиндикация общего состояния атмосферы урбоэкосистем: автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Брянск, 2014. — 24 с.
 20. Большунова Т.С. Оценка степени трансформации природной среды в районах нефтегазодобывающего комплекса Томской области по данным изучения снегового покрова и лишайников-эпифитов // дис. ... канд. геол. — мин. наук / Т.С. Большунова. — Томск, 2015. — 182 с.
 21. Шуваева О.В. Определение химических форм мышьяка и ртути в объектах окружающей среды: автореф. дис. докт. хим. наук. — Новосибирск, 2009. — 38С.
 22. Hossain M. A., Anawar H. M., Canha N., Santa-Regina I., Freitas M. C. Adaptation, tolerance, and evolution of plant species in a pyrite mine in response to contamination level and properties of mine tailings: sustainable rehabilitation // J. Soils Sediments — 2013. — V. 13. — P. 730–741
 23. Большунова Т.С., Рихванов Л.П., Барановская Н.В. Элементный состав лишайников как индикатор загрязнения атмосферы // Экология и промышленность России. — 2014. — № 11. — С. 26–31.
 24. Межибор А.М., Большунова Т.С. Биогеохимическая характеристика сфагновых мхов и эпифитных лишайников в районах нефтегазодобывающего комплекса Томской области // Известия Томского политехнического университета. — 2014. — Т. 325. — № 1. — С. 205–213.
 25. Seal R.R., Hammarstrom J.M., Jambor J.L., Blowes D.W., Ritchie A.I. M. // Environmental Aspects of Mine Wastes: Mineralogical Association of Canada Short Course Series / Vancouver, British Columbia. 2003. — Vol. 31. — P. 11.
 26. Густайтис М.А. Ртуть в потоках рассеяния высокосульфидных отходов Урского месторождения (Западная Сибирь) по данным термического анализа с атомно-абсорбционным детектированием: дисс. ... канд. геол. — мин. наук. — Новосибирск, 2010. — 142 с.
 27. Bogush A.A., Galkova O.G., Ishuk N.V. Geochemical barriers to elemental migration in sulfide-rich tailings: three case studies from Western Siberia // Mineralogical Magazine. — Vol. 76. — № 7. — P. 2693–2707.
 28. Болгов Г.П. Сульфиды Салаира. Урская группа полиметаллических месторождений // Известия Томского индустриального института. — 1937. — Т. 58. — С. 45–96.

REFERENCES

1. Usmanova T.V., Talovskaya A.V., Mongolina T.A., Pavlov I.P. Otsenka vkladа ugol'nykh shakht v transformatsiyu sostava prirodnykh sred (na primere shakhtы «Khakasskaya») [Evaluation of the contribution of the coal mines in the transformation of the composition of the natural environment (on the example of mine “Khakassia”). *Vestnik nauki Sibiri* [Bulletin of Siberian science]. 2012, I. 4 (5), pp. 4–16. (in Russian)
2. Krupskaya L.T., Saksin B.G., Bondarenko E.N., Ershov M.A., Baburin A.A. Bioindikatsiya zagryazneniya ekosistem v zone vliyaniya zolotodobychi na yuge dal'nego vostoka [Bioindication ecosystem pollution in the zone of influence of gold mining in the south of the Far East]. *Elektronnyy zhurnal «Issledovano v Rossii»* [Electronic Journal “Investigated in Russia”]. 2004. Available at: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2004/180.pdf> (accessed 25 December 2015). (in Russian)
3. Vaynshteyn E.A. Nekotorye voprosy fiziologii lishaynikov. III. Mineral'noe pitanie [Some questions lichen physiology. III. Mineral nutrition]. *Botan. zhurn.* [Bot. Zh.] 1982, V. 67, I. 5, pp. 561–571. (in Russian)
4. Nash T.H. Lichen biology. Cambridge: University Press, 1996. 303 p.
5. Bargagli R. Trace Elements in Terrestrial Plants: An Ecophysiological Approach to Biomonitoring and Biorecovery. B.: Springer. 1998. 324 p.
6. Hossain M.A., Anawar H. M., Canha N., Santa-Regina I., Freitas M.C., Adaptation, tolerance, and evolution of plant species in a pyrite mine in response to contamination level and properties of mine tailings: sustainable rehabilitation, *J. Soils Sediments*, 2013. — Vol. 13. — P. 730–741.
7. Vinogradova A.A., Zamber N.S., Kutenkov S.A. Istochniki tyazhelykh metallov, nakaplivayushchikhsya v kustistykh epifitnykh lishaynikakh Karelii [Sources of heavy metals accumulated in the bushy epiphytic lichens Karelia] *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. [Modern problems of science and education] 2012, I. 5. Available at: www.science-education.ru/105-6962 (accessed: 25 December 2015). (in Russian)
8. Shevchenko V.P., Politova N.V., Aybulatov N.A. Elementnyy sostav mkhov i lishaynikov o-va Vaygach kak indikator vypadeniya veshchestva iz atmosfery [The elemental composition of mosses and lichens Islands Vaigach as an indicator of loss of matter from the atmosphere]. *Arktika i Antarktika*. [Arctic and Antarctic]. V. 3 (37). Moscow, Nauka Publ., 2004. 247p. (in Russian)
9. Purvis O. W., Chimonides P. J., Jones G. C., Mikhailova I. N., Spiro B., Weiss D. J., Williamson B. J. Lichen biomonitoring near Karabash Smelter Town, Ural Mountains, Russia, one of the most polluted areas in the world. *Proc. R. Soc. Lond. B.*, 2004. Vol. 27. P. 221–226. Available at: <http://rspb.royalsocietypublishing.org> (accessed: 25 December 2015).
10. Purvis O.W., Williamson B.J., Spiro B., Udachin V., Mikhailova I.N., Dolgoplova A. Lichen monitoring as a potential tool in environmental forensics: case study of the Cu smelter and former mining town of Karabash, Russia. *Environmental and Criminal Geoforensics*. London: Geological Society, London, Special Publications, 2013, Vol. 384. P. 133–136.
11. Myagkaya I.N., Lazareva E.V., Gustaytis M.A., Shcherbov B.L., Zhmodik S.M. Pereraspredelenie Au i Ag mezhdut otkhodami obogashcheniya rud Novo-Urskogo mestorozhdeniya i torfom v sisteme khvostokhranilishcha [Redistribution of Au and Ag between waste ore dressing New Urschi deposits and peat in the tailings system]. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri* [Geology and mineral resources of Siberia]. 2014, V.3s-2, pp. 123–127. (in Russian)
12. Shcherbakova I.N., Gustaytis M.A., Lazareva E.V., A.A. Bogush. Migratsiya tyazhelykh metallov (Cu, Pb, Zn, Fe, Cd) v oreole rasseyaniya Urskogokhvostokhranilishcha (Kemerovskaya obalast') [The migration of heavy metals (Cu, Pb, Zn, Fe, Cd) in the scattering halo Urskogohvostokhranilishcha (Kemerovo obalast)]. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya* [Chemistry for sustainable development]. 2010. V. 18. pp. 621–633. (in Russian)
13. Nesterenko G.V., Osintsev S.R., Portnikov D.I. Formirovanie i istochniki pitaniya rossypey Severo-Vostochnogo Salaira [Formation and power placers of Northeast Salair]. *Usloviya obrazovaniya, printsipy prognoza i poiskov zolotorudnykh mestorozhdeniy* [terms of education, the principles of forecasting and prospecting of gold deposits]. Tr. IGIg, Vyp. 533. Novosibirsk, Nauka Publ., 1983, pp 166–194. (in Russian)
14. Gustaytis M.A., Myagkaya I.N., Shcherbov B.L., Lazareva E.V. Migratsiya rtuti, v tekhnogennykh sistemakh s ekstremal'no vysokimi sodержaniyami rtuti (Urskoekhvostokhranilishche, Kemerovskaya oblast') [The migration of mercury in man-made systems with extremely high content of mercury (Urskoekhvostokhranilishche, Kemerovo region)]. *Materialy Vseros. nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem ; Ros.akad. nauk, Sib. otd-nie, In-t geologii i mineralologii im. V.S. Soboleva*. [Proc. scientific. Conf. with int. participation; Ros.akad. Sciences]. Novosibirsk, INGG SO RAN Publ., 2014, 759 p. Available at: <http://shakhov.igm.nsc.ru/pdf/> (accessed 20 Ganuiry 2016). (in Russian)
15. Bortnikova S.B. *Geokhimiya tekhnogennykh sistem* [Geochemistry of technological systems]. S.B. Bortnikova, O.L. Gas'kova, E.P. Bessonova [SB Bortnikov, OL Gaskova, EP Bessonova]. IGM SO RAN. Novosibirsk, Akademicheskoe izd-vo «Geo» Publ., 2006. 169 p. (in Russian)
16. Mezhibor A.M., Rikhvanov L.P. Biogeochemical Characteristics of Polytrichum Commune Mosses within the Ursk Tailing Dump Territory in Kemerovo Region // *Bezopasnost v tehnosfere* — 2016 — №1. — P. 3–11. (in Russian)
17. Garty J. Biomonitoring atmospheric heavy metals with lichens: Theory and application. *Crit. Rev. Plant Sci.* 2001, Vol. 20. P. 309–371.
18. Meysurova A.F. Biomonitoring atmosfernogo zagryazneniya s ispol'zovaniem IK spektral'nogo analiza indikatornykh vi-

- dov lishaynikov (na primere Tverskoy oblasti). Doct. Diss. [Biomonitoring atmospheric pollution with the use of IR spectral analysis of indicator species of lichens (the example of the Tver region). Doct. Diss.]. Tver', 2014, 42 p. (in Russian)
19. Safrankova E.A. Kompleksnaya likhenoidikatsiya obshchego sostoyaniya atmosfery urboekosistem. Kand. Diss. [Complex lichenoidication general state of the atmosphere urboecosystems. Cand. Diss.]. Bryansk, 2014, 24 p. (in Russian)
 20. Bol'shunova T.S. Otsenka stepeni transformatsii prirodnoy sredy v rayonakh neftegazodobyvayushchego kompleksa Tomskoy oblasti po dannym izucheniya snegovogo pokrova i lishaynikov-epifitov. Kand. Diss. [Assessment of the degree of transformation of the natural environment in the areas of oil and gas complex of the Tomsk region according to the study of snow cover and lichen-epiphytes. Cand. Diss.]. Tomsk, 2015, 182 p. (in Russian)
 21. Shuvaeva O.V. Opredelenie khimicheskikh form mysh'yaka i rtuti v ob'ektakh okruzhayushchey sredy. Doct. Diss. [Determination of chemical forms of arsenic and mercury in the environment. Doct. Diss.]. Novosibirsk, 2009, 38p. (in Russian)
 22. Hossain M.A., Anawar H.M., Canha N., Santa-Regina I., Freitas M. C. Adaptation, tolerance, and evolution of plant species in a pyrite mine in response to contamination level and properties of mine tailings: sustainable rehabilitation. 2013. V. 13. P. 730–741.
 23. Bol'shunova T.S., Rikhvanov L.P., Baranovskaya N.V. Elementnyy sostav lishaynikov kak indikator zagryazneniya atmosfery [The elemental composition of lichens as an indicator of air pollution]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia]. 2014. V. 11, pp. 26–31. (in Russian)
 24. Mezhibor A.M., Bol'shunova T.S. Biogeokhimicheskaya kharakteristika sfagnovykh mkhov i epifitnykh lishaynikov v rayonakh neftegazodobyvayushchego kompleksa Tomskoy oblasti [Biogeochemical characteristics of sphagnum moss and epiphytic lichens in the areas of oil and gas complex of the Tomsk region]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University]. 2014, V. 325, I. 1, pp. 205–213. (in Russian)
 25. Seal R. R., Hammarstrom J. M., Jambor J. L., Blowes D. W., Ritchie A. I. M. Environmental Aspects of Mine Wastes: Mineralogical Association of Canada Short Course Series. Vancouver, British Columbia. 2003, V. 31, p. 11.
 26. Gustaytis M.A. Rtut' v potokakh rasseyaniya vysokosul'fidnykh otkhodov Urskogo mestorozhdeniya (Zapadnaya Sibir') po dannym termicheskogo analiza s atomno-absorbtsionnym detektirovaniem. Cand. Diss. [Mercury in the scattering of waste streams vysokosul'fidnykh Urschi field (Western Siberia), according to thermal analysis with atomic absorption detection. Cand. Diss.]. nauk. Novosibirsk, 2010, p. 142. (in Russian)
 27. Bogush A.A., Galkova O.G., Ishuk N.V. Geochemical barriers to elemental migration in sulfide-rich tailings: three case studies from Western Siberia [Geochemical barriers to elemental migration in sulfide-rich tailings: three case studies from Western Siberia]. *Mineralogical Magazine*. [Mineralogical Magazine]. V. 76, I. 7, pp. 2693–2707.
 28. Bolgov G.P. Sul'fidy Salaira. Urskaya gruppa polimetallicheskikh mestorozhdeniy [Urschi group polymetallic deposits]. *Izvestiya Tomskogo industrial'nogo instituta*. [Bulletin of the Tomsk Industrial Institute]. 1937, V. 58, pp. 45–96. (in Russian)

Lichen Biomonitoring on the Territory of Tailings Ponds of Mining Company (the Case of Kemerovo region)

T.S. Bol'shunova, Engineer, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, National Research Tomsk Polytechnic University, JSC «TomskNIPIneft».

L.P. Rikhvanov, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, National Research Tomsk Polytechnic University.

This paper represents data about the levels of accumulation of chemical elements in epiphytic lichen species Hypogymniaphysodes and Everniamesomorpha, in the territory adjacent to the Komsomolsk and Ursk tailings in Kemerovo region (Russia). The concentrations of 58 chemical elements in samples were determined by the mass spectrometry with inductively coupled plasma. According to results of comparison with background concentrations of the chemical elements, the specificity of the geochemical composition of lichens from Komsomolsk tailing heightened in 2.5 to 17 times the concentration of As, Cd, Sb, Hg, Au. Lichens specialization of Ursk tailing manifested in abnormally high in 3-62 times contents of As, Cd, Sb, Hg, Au, and Mn, Se, Ag, Ba, Eu, Pb, Bi. The results of this research testify that the elemental composition of lichens is directly related to the specificity of the matter composition of the tailings from mining and ore processing. Ursk tailing has higher risk of impact on the environment.

Keywords: lichen biomonitoring, epiphytic lichens, tailings, mining enterprises, Kemerovo region, contamination of chemical elements.