

УДК 550.47+504.064.36

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ФОНОВЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЛИШАЙНИКАХ-ЭПИФИТАХ

Большунова Татьяна Сергеевна,

инженер 1 категории отдела экологического нормирования
ОАО «ТомскНИПИнефть», Россия, 634027, г. Томск, пр. Мира, 72;
Инженер-исследователь кафедры геоэкологии и геохимии Института
природных ресурсов Национального исследовательского Томского
политехнического университета, Россия, 634050, Томск, пр. Ленина, 30.
E-mail: BolshunovaTS@gmail.com

Рихванов Леонид Петрович,

д-р геол.-минерал. наук, профессор кафедры геоэкологии и геохимии
Института природных ресурсов Национального исследовательского
Томского политехнического университета, Россия, 634050, Томск,
пр. Ленина, 30. E-mail: Rikhvanov@tpu.ru

Барановская Наталья Владимировна,

д-р биол. наук, профессор кафедры геоэкологии и геохимии Института
природных ресурсов Национального исследовательского Томского
политехнического университета, Россия, 634050, Томск, пр. Ленина, 30.
E-mail: Natalia.baranovs@mail.ru

Актуальность. Антропогенная деятельность, в том числе добыча полезных ископаемых, сопряжена с загрязнением окружающей среды и накоплением отходов производства. Предотвращение и ликвидация наблюдаемых при этом негативных воздействий предполагает целый ряд мероприятий, первым из которых является оценка их влияния на природную среду. В свою очередь, она невозможна без знания фоновых состояний компонентов окружающей среды, что и определило актуальность исследования.

Цель работы: установить влияние эколого-геохимических факторов на уровни накопления химических элементов в эпифитных лишайниках, используемых в качестве индикаторов антропогенного влияния на окружающую среду; определить фоновые концентрации элементов в лишайниках для последующей оценки воздействия процессов добычи и транспортировки полезных ископаемых.

Методы исследования: методы математической статистики, ландшафтно-геохимический метод, методы определения химического состава компонентов окружающей среды (нейтронно-активационный).

Результаты. Установлено, что химический состав эпифитных лишайников отражает природные геохимические особенности коренных пород и почвенного покрова территории их произрастания. Полученные данные свидетельствуют о достаточно близких уровнях накопления, укладываемых в доверительный интервал определений таких 16 элементов, как La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Th, Sc, Fe, Co, Ca, Na, Rb, Cs, а также группы из 12 элементов: Cr, Zn, As, Br, Sr, Ag, Sb, Ba, Nd, Ta, Au, U, для которых наблюдаются более значимые различия в оценке их средних для каждого из изученных фоновых участков. Рекомендовано в качестве регионального фона для юга Западной Сибири использовать элементный состав эпифитных лишайников Томского района, который характеризуется незначительным влиянием промышленных предприятий и отсутствием каких-либо выявленных геохимических аномалий коренных пород и подстилающей поверхности.

Ключевые слова:

Загрязнение атмосферного воздуха, фоновые районы, концентрации химических элементов, лишайники-эпифиты, преобладание природного геохимического фактора.

Введение

Изменение окружающей среды в процессе добычи георесурсов под действием антропогенного фактора наблюдаются не только на местных, региональных, уровнях, но также и в глобальном масштабе. Объективную и точную информацию о состоянии экосистем, в пределах которых проводится добыча георесурсов, а также о тенденциях изменения этого состояния могут давать системы экологического мониторинга [1], одним из элементов которого является мониторинг биологических систем или биомониторинг. В свою оче-

редь, среди направлений экологического биомониторинга отдельно рассматривается лишеномониторинг (Lichen – лишайник (англ.)), т. е. использование лишайников в качестве объектов наблюдения и с целью изучения химического состава. Это направление системы качества природной среды весьма актуально, поскольку позволяет за счёт довольно продолжительного периода жизни лишайников получать многолетние осредненные характеристики состояния биосферы, одновременно являющейся и георесурсным комплексом [2].

География распространения лишайников на Земном шаре весьма обширна. Из всех многоклеточных организмов лишайники имеют наиболее широкую экологическую толерантность по разным параметрам окружающей среды [3].

Эпифитные лишайники, произрастающие на стволах и ветвях деревьев, чувствительны к изменению химического состава компонентов окружающей среды, включая атмосферный воздух и атмосферные осадки, а также к изменению климата и ряду других факторов [3]. На видовой состав и количественные характеристики сообществ эпифитных лишайников влияют такие естественные факторы, как влажность воздуха, освещенность, и др. [4, 5]. Поскольку лишайники-эпифиты не имеют корневой системы, их питание является атмосферным и, соответственно, элементный состав в обобщенном виде отражает, прежде всего, состав химических элементов в атмосфере.

Степень пространственно-временных изменений концентраций элементов, поступающих из антропогенных или естественных источников, может быть выявлена путём сравнения с эталонными районами или с фоновыми значениями концентраций элементов в образцах того же вида растений [2]. В этой связи для сравнения данных, полученных в ходе лишайномониторинга антропогенно-загрязнённых территорий, необходимо располагать фоновыми концентрациями определяемых химических элементов в лишайниках. Для выбора фона обычно руководствуются фактором удаленности оцениваемого участка от источников выбросов загрязняющих веществ в процессе добычи георесурсов. Однако следует понимать, что в настоящее время таких районов практически остаётся всё меньше, и, даже в случае отсутствия антропогенного воздействия, имеют место трансграничные переносы

загрязняющих веществ, которые для определённых регионов оказывают более сильное влияние, нежели локальные источники [6]. Кроме того, существуют и природные факторы, определяющие повышенный региональный фон для некоторых химических элементов. Типы растительных поясов и типы почвенного покрова также оказывают влияние на содержание химических элементов в растениях [2], и определиться с выбором фоновых параметров достаточно непростая задача.

В работе сделана попытка оценить влияние эколого-геохимических факторов на уровни накопления химических элементов в эпифитных лишайниках, являющихся важным индикатором воздействия промышленности на окружающую среду и отобранных в практически незатронутых антропогенной деятельностью участках. Кроме того, мы попытались установить некие генерализованные фоновые концентрации химических элементов в эпифитных лишайниках, нивелируя особенности каждого из рассмотренных районов.

Материалы и методы

Отбор проб эпифитных лишайников осуществлялся в четырёх районах Западной и Восточной Сибири и одном районе Центральной Европы (рис. 1):

- Томская область, Томский район (юг, юго-восток района, наименее подверженный влиянию Томск-Северской промышленной зоны [7], район расположен в пределах подтайги (подзона мелколиственных лесов). Пробы отбирались в 2006 г. [8] и 2013 г.
- Кемеровская область, отроги Кузнецкого Алатау, южнотаежные темнохвойные леса. Образцы лишайников были отобраны в июне 2013 г.
- Иркутская область, Черемховский район, окрестности с. Голуметь, Присаянская провин-

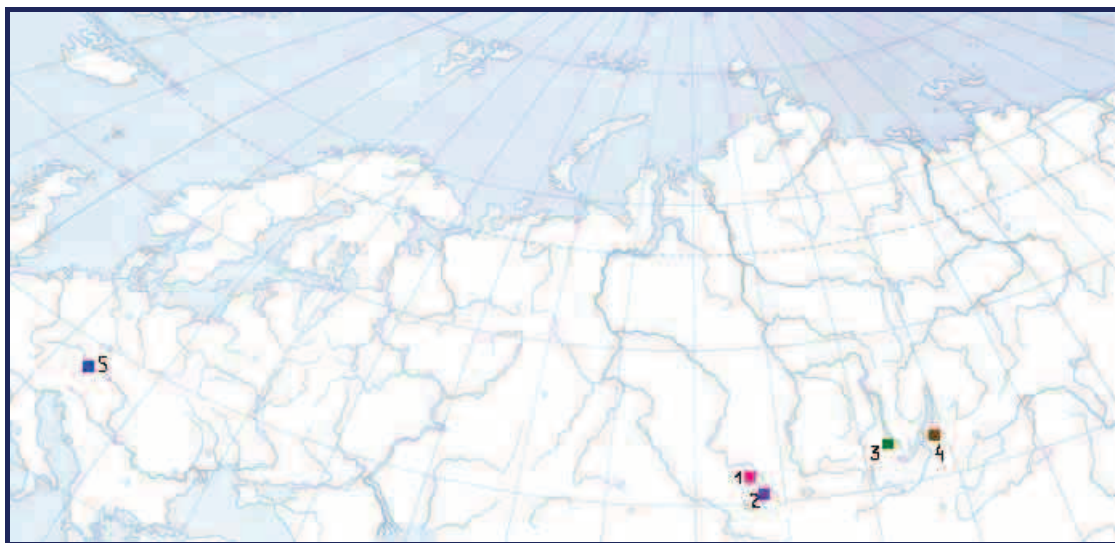


Рис. 1. Карта-схема пунктов отбора проб лишайников-эпифитов: 1 – Томская область, 2 – Кемеровская область, 3 – Иркутская область, 4 – Республика Бурятия, 5 – Австрия

Fig. 1. Map of sampling works of epiphytic lichens: 1 – Tomsk region, 2 – Kemerovo region, 3 – Irkutsk region, 4 – Republic of Buryatia, 5 – Austria

ция таежной зоны Средней Сибири. Пробы лишайников отбирали в сентябре 2012 г.

- Республика Бурятия, Забайкальский национальный парк (район Баргузино-Чивыркуйского перешейка (БЧП), вблизи оз. Байкал, межгорно-котловинные таежные ландшафты с преобладанием в древостое лиственницы. Образцы лишайников отбирались в августе 2013 г.
- Австрия, Зиммеринг, восточные Альпы, территория расположена в пределах высотного пояса смешанных лесов. Пробы отбирались весной 2012 г.

В общей сложности для проведения данного исследования использовались 22 пробы эпифитных лишайников. Следует отметить, что все вышеперечисленные территории характеризуются значительной удалённостью на многие десятки и сотни километров от крупных промышленных центров. Каждая из этих территорий обладает своими особенностями геологического строения, типом почв и другими параметрами. При пробоотборе придерживались рекомендаций, приведённых в некоторых публикациях, например Р. Баргалы и Л. Нимис [9]. Отбирались лишайники по случайной сетке на высоте человеческого роста от поверхности почвы с целью снижения вероятности загрязнения образцов частичками почв. Кроме того, лишайники, произрастающие на подобной высоте, отражают состав воздуха, вдыхаемого человеком. Образцы отбирались с нескольких расположенных близко деревьев и объединялись в одну пробу. Виды эпифитных лишайников были определены в г. Томске по [10]. Так, в Австрии были отобраны виды *Melanohalea olivacea* (L.) O. Blanco et al., *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf, *Hypogymnia tubulosa* (Schaer.) Hav., *Usnea filipendula* Stirt. В России – *Evernia mesomorpha* (Flot.) Nyl., *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., *Usnea subfloridana* Stirt., *Parmelia sulcata* Tayl., *Bryoria nadvornikiana* (Gyeln.) Brodo ex D. Hawksw. и др. В лаборатории образцы были очищены с помощью пинцета от посторонних загрязнителей (частиц коры, хвои и пр.) и высушены до воздушно-сухого состояния. Для анализов готовились пробы вида *Evernia* (пробы из Томской, Кемеровской, Иркутской областей, Австрии) и смешанные пробы со значительным преобладанием в пробе вида *Evernia mesomorpha* (для проб из Бурятии). По мнению некоторых исследователей, разные виды мало отличаются по характеру накопления химических элементов [11–13, 6 и др.].

С целью достижения равномерности распределения химических элементов внутри пробы образцы измельчались. Гомогенизированные образцы озоляли в муфельной печи. В течение часа температуру доводили до 100 °С, затем озоляли пробы при температуре 550 °С согласно ГОСТ 27784–88 [14], т. к. для озоления лишайников иного стандарта не найдено. Озоление растительных проб позволяет снизить вероятность возникновения по-

грешностей от органической части и улучшает репрезентативность результатов благодаря концентрированию элементов в пробах. Подготовленные образцы после остывания взвешивали (по 100 мг) и тщательно упаковывали в пакетики из фольги. Для количественного анализа на содержание 28 химических элементов (включая редкие земли) в лишайниках использовался современный высокочувствительный ядерно-физический метод инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА), выполненный в аккредитованной ядерно-геохимической лаборатории кафедры геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета (ТПУ) (аналитик с.н.с. А.Ф. Судыко) по аттестованной методике № МКХА НСАМ № 510-ЯФ ТПУ.

Метод ИНАА является одним из наиболее точных многоэлементных методов, особенно для измерения брома, хрома, кобальта, рубидия, сурьмы, скандия и цинка. Аналитические исследования в ядерно-геохимической лаборатории ТПУ проводятся с использованием стандартных образцов сравнения, например стандарта МАГАТЭ «Лист берёзы» № ЛБ-8923–2007, «Элодея канадская» № ЭК-1 (8921–2007), «Травосмесь» № ТР (8922–2007). Многочисленные измерения различных стандартных образцов и сопоставление полученных данных с их паспортными (аттестованными) значениями показали удовлетворительную сходимость полученных результатов.

В качестве используемого для обработки данных программного обеспечения использовались Microsoft Word, Microsoft Excel, Paint, STATISTIKA.

По полученным результатам были рассчитаны статистические параметры распределения химических элементов: среднее, стандартная ошибка, стандартное отклонение и традиционные для биогеохимических исследований показатели. Были подсчитаны коэффициенты концентрирования (Кк) – отношение содержания элемента в золе растения к кларку концентрации в верхней континентальной коре по Н.А. Григорьеву. Кроме того, были определены коэффициенты относительного поглощения [15] – отношение содержания элемента в лишайнике к среднемировому показателю в золе растений по В.В. Добровольскому [16]. Проводилась проверка на нормальность распределения элементов в выборке тестом Колмогорова–Смирнова. Выборки были проанализированы на наличие крайних аномально низких и высоких значений и, в случае выявления таковых, эти данные не учитывались при расчёте средних, но принимались для общего обсуждения.

Результаты и их обсуждение

Полученные данные о химическом составе лишайников, отобранных на фоновых участках различных регионов, приводятся в табл. 1. Также для сравнения использованы фоновые концентрации эпифитных лишайников вида *Evernia*, представленные Р. Баргалы в его монографии [2].

Таблица 1. Сравнительная характеристика элементного состава эпифитных лишайников различных регионов (мг/кг в золе)
Table 1. Comparison of elemental composition of epiphytic lichens in different regions (mg/kg, ash)

Химические элементы, мг/кг Chemical elements, mg/kg	Томская обл., среднее $\pm \sigma$ (13 проб)* Tomsk region, average $\pm \sigma$ (13 samples)*	Кемеровская обл., среднее $\pm \sigma$ (3 пробы) Kemerovo region, average $\pm \sigma$ (3 samples)	Иркутская обл. (1 проба) Irkutsk region (1 sample)	Республика Бурятия, среднее $\pm \sigma$ (4 пробы) Republic of Buryatia, average $\pm \sigma$ (4 samples)	Австрия, Зиммеринг (1 проба) Austria, Simmering (1 sample)	Среднее по всем фоновым участкам Average meaning in all areas	Пределы фоновых концентраций [2], сухое в-во** Limits of background concentrations [2], dry substance**
Na, %	$0,7 \pm 0,2$ 0,28–1,04	$0,8 \pm 0,2$ 0,63–1,18	0,5	$1,5 \pm 0,7$ 0,43–2,1	0,7	$1,1 \pm 0,6$	Н.д.
Ca, %	$8,5 \pm 3,8$ 1,7–13,7	$12,4 \pm 3,7$ 8,47–16,03	12,0	$4,9 \pm 1,4$ 3,8–6,6	13,1	$8,8 \pm 4,5$	Н.д.
Sc	$7,9 \pm 3,4$ 3,9–15,9	$8 \pm 2,5$ 6,02–10,91	7,4	$8,5 \pm 0,8$ 7,6–9,6	4,5	$7,3 \pm 1,6$	Н.д.
Cr	$82,8 \pm 56,2$ 34,3–178	$67,8 \pm 23,6$ 53,8–95	57,3	42 ± 9 33–52	281,0	$87,7 \pm 68,5^{***}$	<1–5
Fe, %	$2,3 \pm 0,9$ 1,1–4,3	$2,3 \pm 0,7$ 1,9–3,1	1,9	$2,8 \pm 0,3$ 2,3–3,1	3,1	$2,7 \pm 0,5$	0,015–0,030
Co	$12,3 \pm 7,2$ 6–159	$13,2 \pm 2,8$ 11,5–16,6	16,9	$12,3 \pm 1,3$ 10,9–13,5	12,2	$15,3 \pm 6,5$	<0,1–0,2
Zn	1220 ± 395 921–1668	1349 ± 86 1250–1403	4316,0	987 ± 96 975–1099	2331,0	$1166 \pm 256^{***}$	20–70
As	$7,8 \pm 3,4$ Н.п.о. –9,2	$10,2 \pm 0,8$ Н.п.о. –10,67	Н.п.о.	$0,3 \pm 0,1$ 0,3–0,4	Н.п.о.	$5 \pm 4,3$	0,3–1,5
Br	$26,4 \pm 14,4$ 15,2–32,2	$164 \pm 7,6$ 160–173	47,5	115 ± 17 100–139	409,7	$130 \pm 30^{***}$	Н.д.
Rb	$80,8 \pm 20,5$ 49–100	$113,8 \pm 37$ 96–157	149,2	223 ± 161 127–464	112,1	188 ± 113	Н.д.
Sr	$389,6 \pm 138,4$ 236–565	516 ± 62 449–563	799	973 ± 486 516–1643	364	665 ± 397	5–20
Ag	Н.п.о.	$6,3 \pm 2,3$ 4,6–9	4,75	$4,43 \pm 2,9$ 1,8–8,6	0,8	$3,8 \pm 3$	<0,1–0,3
Sb	$3,4 \pm 2,1$ 0,9–7,7	$3,2 \pm 1,2$ 2,3–4,6	1,35	$1,1 \pm 0,4$ 0,8–1,7	8,6	$3,2 \pm 2,2$	<0,1–0,3
Cs	$3,0 \pm 1,7$ 1,6–6,8	$5,1 \pm 1,6$ 3,7–6,9	2,5	$4,2 \pm 1,6$ 3,3–6,7	4,1	$4,6 \pm 1,4$	Н.д.
Ba	523 ± 177 220–791	572 ± 67 517–647	5009	751 ± 183 526–915	547	$672 \pm 153^{***}$	8–20
La	$25,9 \pm 10,1$ 10–44,3	$24 \pm 5,8$ 20,3–30,76	23,7	$40,8 \pm 16,5$ 18,6–54,8	15,92	33 ± 13	Н.д.
Ce	$42,9 \pm 16,1$ 23,9–82,9	$42 \pm 10,7$ 34,6–54,6	39,3	$66,4 \pm 24,2$ 34,7–85,4	40,8	54 ± 19	Н.д.
Nd	$21,2 \pm 8,1$ Н.п.о. –30,3	$14,4 \pm 8,5$ 0,5–17,5	27,1	$31,9 \pm 16,7$ 14,4–47	3,7	22 ± 14	Н.д.
Sm	$3,8 \pm 1,4$ 1,5–6,5	$3,9 \pm 1,1$ 3,01–5,3	3,4	$4,2 \pm 1,1$ 2,7–5,1	2,6	$4,4 \pm 1,2$	Н.д.
Eu	$0,9 \pm 0,3$ 0,6–1,6	$0,8 \pm 0,3$ 0,6–0,9	0,7	$1,2 \pm 0,4$ 0,7–1,6	0,7	$1,0 \pm 0,4$	Н.д.
Tb	$0,6 \pm 0,2$ 0,3–3,5	$0,6 \pm 0,2$ 0,4–0,81	0,5	$0,6 \pm 0,2$ 0,4–0,9	0,3	$0,60 \pm 0,2$	Н.д.
Yb	$2,1 \pm 0,7$ 1–3,5	$1,5 \pm 0,5$ 1,1–2,1	1,9	$1,2 \pm 0,8$ 0,2–2,2	0,8	$1,7 \pm 0,9$	Н.д.
Lu	$0,3 \pm 0,1$ 0,14–0,5	$0,3 \pm 0,04$ 0,26–0,34	0,3	$0,2 \pm 0,02$ 0,2–0,6	0,2	$0,3 \pm 0,1$	Н.д.
Hf	$3,7 \pm 1,4$ 2,4–6,9	$2,9 \pm 1,0$ 2,1–4,0	2,6	$4,5 \pm 2$ 2,1–6,7	1,4	$4 \pm 1,6$	Н.д.
Ta	$0,8 \pm 0,3$ 0,5–1,6	$0,6 \pm 0,5$ 0,6–0,7	0,2	$0,9 \pm 0,5$ 0,002–1,5	0,2	$0,8 \pm 0,3$	Н.д.

Окончание табл. 1

Table 1.

Химические элементы, мг/кг Chemical elements, mg/kg	Томская обл., среднее $\pm \sigma$ (13 проб)* Tomsk region, average $\pm \sigma$ (13 samples)*	Кемеровская обл., среднее $\pm \sigma$ (3 пробы) Kemerovo region, average $\pm \sigma$ (3 samples)	Иркутская обл. (1 проба) Irkutsk region (1 sample)	Республика Бурятия, среднее $\pm \sigma$ (4 пробы) Republic of Buryatia, average $\pm \sigma$ (4 samples)	Австрия, Зиммеринг (1 проба) Austria, Simmering (1 sample)	Среднее по всем фоновым участкам Average meaning in all areas	Пределы фоновых концентраций [2], сухое в-во** Limits of background concentrations [2], dry substance**
Au	$0,06 \pm 0,02$ Н.п.о. – 0,064	Н.п.о.	0,047	Н.п.о.	0,06	$0,24 \pm 0,007$	Н.д.
Th	$5,9 \pm 3,1$ 2,7–12,6	$4,3 \pm 0,1$ 4,2–4,4	4,4	$8,9 \pm 3,2$ 4,5–12	3,6	$7,4 \pm 3,2$	Н.д.
U	$3,4 \pm 2,1$ 1–6	$2,34 \pm 0,9$ 1,5–3,3	2,1	$4,7 \pm 2,2$ 1,5–633	0,002	$4,3 \pm 1,9$	Н.д.
Ad, %	4,1	4,7	3,4	4,4	1,3	3,6	Н.д.
La/Yb	12,1	15,6	12,5	34,6	19,5	19,4	Н.д.
Th/U	1,7	1,9	2,1	1,9	>>5	1,7	Н.д.

Н.д. – нет данных; Н.п.о. – ниже предела обнаружения метода; * – усреднённое значение по данным мониторинга 2006 [8] и 2013 гг.; ** – диапазоны фоновых концентраций [2] в воздушно-сухой массе эпифитных лишайников-биомониторов Evernia (с небольшой степенью воздействия почвы и атмосферных загрязнителей), полученные в результате обобщения данных по материалам многих исследователей; *** – среднее по фоновым участкам без учёта вклада аномально высоких значений для территорий Иркутской обл. (Zn, Ba), Австрии (Zn, Cr, Br).

Н.д. there is no data; Н.п.о. is below detection limit of the method; * is the average value by the data of monitoring in 2006 [8] and 2013; ** are the ranges of background concentrations [2] in air-dry weight of epiphytic lichens biomonitors Evernia (with a low degree of effect of soil and atmosphere pollutants) obtained as a result of data generalization by the materials of different researchers; *** is the average meaning by the background areas neglecting the impact of anomalously high values for Irkutsk region (Zn, Ba), Austria (Zn, Cr, Br).

Средние значения химических элементов в лишайниках всех фоновых районов представлены на рис. 2.

Анализ табличных данных (табл. 1) и круговых диаграмм (рис. 3) свидетельствует о достаточно близких уровнях накопления, укладывающихся в доверительный интервал определений таких 16 элементов, как La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Th, Sc, Fe, Co, Ca, Na, Rb, Cs, а также группы из 12 элементов: Cr, Zn, As, Br, Sr, Ag, Sb, Ba, Nd, Ta,

Au, U, для которых наблюдаются более значимые различия в оценке их средних для каждого типа фоновых участков.

Можно высказать предположение, что первая группа элементов, по-видимому, обусловлена общим глобальным фактором накопления элементов в атмосфере, например, общий пылевой перенос минерального вещества почв и пород земной коры наноразмерного уровня (Th, Hf, Sc и значительная часть редких земель) и др.

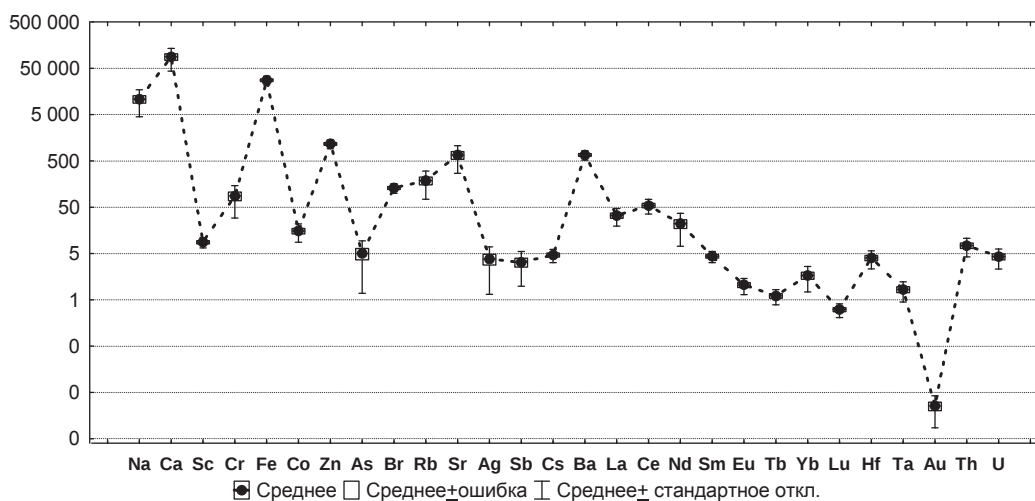


Рис. 2. Средние содержания химических элементов в золе лишайников фоновых районов и доверительный интервал их определения, мг/кг, шкала логарифмическая

Fig. 2. Average content of chemical elements in lichen ash in reference areas and confidence interval of their determination, mg/kg, logarithmic scale

Тогда как вторая группа элементов, по-видимому, отражает как природные ландшафтно-геохимические и геологические особенности расположения оцениваемых фоновых участков, так и специфику региональных техногенных потоков. К последнему можно отнести накопление ряда химических элементов в лишайниках Австрийских Альп, который характеризуется минимальными содержаниями большинства изученных компонентов. Исключение составляет хром, бром, некоторое повышенное значение сурьмы и золота. Повышенные содержания хрома и брома, приближающиеся к таковым для районов нефтегазодобычи на севере Томской области [7], возможно отражают влияние нефтеперерабатывающих, а хром – металлообрабатывающих производств предприятий Австрии, Германии, Швейцарии.

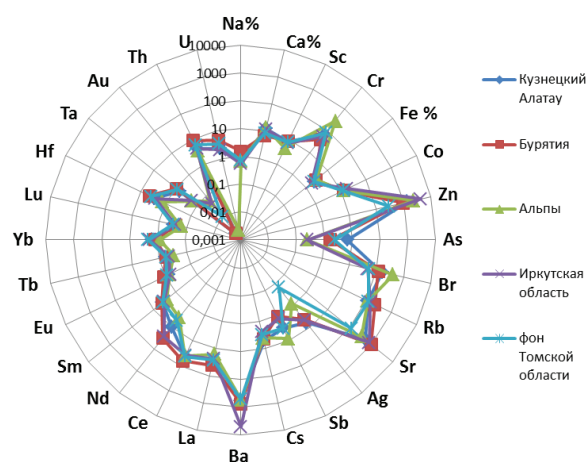


Рис. 3. Содержания элементов в золе лишайников различных регионов, мг/кг, шкала логарифмическая

Fig. 3. Content of elements in lichens ash of different regions, mg/kg, logarithmic scale

На наш взгляд, наиболее ярким примером влияния ландшафтно-геохимического и литогенного факторов на особенности химического состава лишайника является территория Баргузино-Чевыркуйского перешейка (БЧП) озера Байкал, расположенного в пределах развития Ангаро-Витимского гранитоидного батолита, имеющего ярко выраженную радиогеохимическую специфику по Th и U (рис. 4) и характеризующегося проявлением активных современных геологических и рудообразующих процессов [17, 18].

Район БЧП расположен на территории Забайкальского национального парка и входит в перечень особо охраняемых территорий России. Участок пробоотбора характеризуется наличием геохимической аномалии. По мнению Л.П. Рихванова [18], наличие данного специализированного радиогеохимического комплекса пород может обеспечивать при их выветривании выщелачивание урана и его поступление на те или иные геохимические барьеры. Об этом свидетельствуют аномально высокие концентрации урана и неодима в донных отложениях ручья Арангатуй, в торфяниках. По

данным А.А. Мясникова с соавторами [17] в коренных породах (гранитах), илах, поверхностных водах определяются высокие концентрации Sr, Th, U, Ba, TR. Эти данные хорошо коррелируют с результатами исследования элементного состава лишайников, в золе которых наблюдается повышенное (в сравнении с другими изучаемыми районами) содержание урана, до 6,3 г/т в золе, учитывая тот факт, что питание лишайников преимущественно атмосферное. Помимо урана, некоторое повышенное концентрирование наблюдается для Na, Rb, Sr, Ba, Hf, Ta, Th, группы редких земель (La, Ce, Nd), отражающих специфику гранитного субстрата данного района. Атмосферные выпадения поступают в лишайники либо в жидком состоянии (осадки), либо в сухом – вследствие седиментации аэрозолей. Кроме того, минеральные вещества могут попадать в лишайники в виде пыли, содержащей многие химические элементы [20].

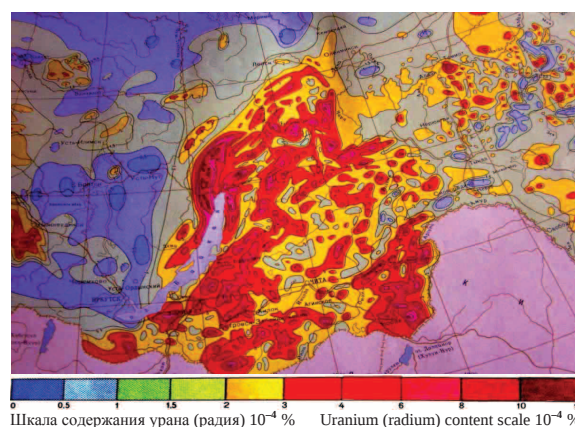


Рис. 4. Фрагмент карты содержания урана (радия) территории России в районе Бурятии и рассматриваемой территории БЧП [19]

Fig. 4. Fragment of the map of uranium (radium) content of the territory of the Russian Federation in Buryatia and the territory of Barguzin-Chevyrkuysky isthmus [19]

Почвы БЧП преимущественно щебнистые, легкосмываемые осадками и развеваемые ветром при отсутствии растительности. Таким образом, высокие концентрации перечисленных химических элементов можно объяснить выветриванием и переносом мельчайших частичек почв, коренных пород, капель воды, их захват и поглощение лишайниками. Тогда как поступление химических элементов из почвы по схеме корни–древесина–кора–лишайник возможно, но не доказано [2].

В литературе встречается информация о воздействии на лишайники источников естественной радиоактивности, в т. ч. рудников по добыче урана [20]. Так, в работе [21] Дж. МакНил с соавторами приводит информацию о накоплении урана лишайниками, произрастающими в районе добычи урановых руд; в публикации [22] аналогично указано на то, что концентрации урана в растениях, в т. ч. лишайниках, отражают концентрации такового в почвах и коренных породах. По информа-

ции [23] захват частиц лишайниками и мхами в районах урановых рудников является важным элементом накопления химических веществ. Данные, представленные в табл. 2, подтверждают вышеприведённые выводы и демонстрируют тесную связь между элементами, содержащимися в коренных породах с таковыми в лишайниках, произрастающих на БЧП.

Таблица 2. Некоторые химические элементы гранитов, илистых отложений, воды поверхностного источника (по А.А. Мясникову [17]), лишайников Баргузино-Чивыркуйского перешейка, мг/кг

Table 2. Some chemical elements of granites, silt deposits, water of surface source (by A.A. Myasnikov [17]), lichens of Barguzin-Chevyrkuy isthmus, mg/kg

Химические элементы, мг/кг Chemical elements, mg/kg	Лейкограниты Ангаро-Витимского батолита у ист. Арангутуйский Leucocratic granites of Angara-Vitim batholite near the source Arangutuy	Ил ист. Арангутуйский Silt of the source Arangutuy	Вода ист. Арангутуйский, мкг/дм³ Water of the source Arangutuy, mkg/dm³	Лишайник (зола)/лишайник (в пересчёте на сухое вещество), наши данные Lichen (ash)/lichen (equivalent to dry substance), the authors' data
Sr	343,2	289,4	98	973,1/38,9
Cs	<0,1	1,1	<0,001	4,23/0,17
Th	79,2	25,25	<0,01	8,94/0,36
U	11,8	150,1	2,3	4,65/0,19
Th / U	6,7	0,2	0,002	1,92

Томский район Томской области характеризуется такими специфичными производствами как атомная энергетика, теплоэнергетика, нефтехимическая промышленность (Томск-Северская промышленная зона). Выбранный нами фоновый участок Томского района находится к югу, юго-западу от г. Томска и Северска (пробы отбирались близ нескольких населённых пунктов, удалённых от Томска на 10–50 км), в противоположную сторону от основного направления розы ветров. Эти территории мало подвержены влиянию Томск-Северской промышленной зоны (подветренная сторона). Тем не менее, лишайники, отобранные в данном районе, характеризуются повышенными значениями Yb, что может свидетельствовать об опосредованном влиянии предприятий ядерно-топливного цикла.

Район отрогов Кузнецкого Алатау, который может служить региональным фоном, несмотря на удалённость от горнодобывающих и металлургических предприятий Кузбасса, характеризуется природными геохимическими особенностями, – это известный золотодобывающий район. В районе пробоотбора подстилающие породы сложены тектонически нарушенными гранитами с повышенной радиоактивностью, обусловленной неравномерным распределением естественных радиоэлементов. Эти особенности отражаются и в химическом составе лишайников региона, характеризующихся повышенными содержаниями тория и урана, приближающиеся к таковым для района влия-

ния Томск-Северской промышленной зоны [7]. Также повышенные значения наблюдаются для Ag, As, Br, Ca, Cs, вероятно, связанные с влиянием горнодобывающих и металлургических предприятий Кемеровской области. Так, по данным С.И. Арбузова и В.В. Ершова, угли Кузнецкого бассейна специализированы на мышьяк, серебро, уран и др. элементы; по среднему содержанию обогащены в числе прочих химических элементов и бромом [24].

Следующий участок отбора лишайников находится в с. Голуметь Черемховского района Иркутской области (от районного центра, п. Черемхово, с. Голуметь находится на расстоянии около 60 км). В отобранном эпифитном лишайнике установлены повышенные содержания Ba, Sr, Nd, Zn, Co. Данный факт можно объяснить как дальним переносом загрязняющих веществ, так и влиянием природного геохимического фона, связанного с выходом угольных пластов (в Черемховском районе эксплуатируется открытым способом каменное угольное месторождение). Загрязнение природной среды района является следствием выбросов предприятий угольной промышленности, большого количества мелких котельных, жилого сектора с печным отоплением. Активное концентрирование лишайниками цинка (4316 мг/кг в золе) можно объяснить тем, что данный металл является элементом накопления почв района угольных месторождений [25].

Таблица 3. Коэффициенты биологического поглощения химических элементов относительно среднемировых содержаний в золе растений (по В.В. Добровольскому [16])

Table 3. Factor of chemical elements biological absorption relative to worldwide average content in plant ash (by V.V. Dobrovolsky [16])

Элемент Element	Cr	Fe	Zn	Ba	U	Br	Co	Ag	La	Rb	Cs	Sr	Hf	As
Регион/Region														
Австрия/Austria	+	+	+	+	+	+	x	x	x	+	x	x	x	+
Ирк. обл. Irkutsk region	+	+	+	+	x	+	+	+	+	x	+	x	+	+
БЧП/BChI	x	+	+	+	x	+	x	+	+	+	+	x	+	+
Кузн. Ал. Kuznetsky Ala Tau	+	+	+	x	x	+	+	+	+	x	+	+	+	+
Том. обл. Tomsk region	+	+	+	x	x	+	x	+	+	+	+	+	+	+

Примечание: «+» – элемент встречается с $K_p > 1,5$; «x» – элемент встречается с $K_p 1,1-1,5$; «-» – элемент имеет $K_p < 1$; все другие (не приведённые в таблице) 14 элементов имеют $K_p < 1$

Note: BChI is the Barguzin-Chevyrkuy isthmus; «+» the element is found out with coefficient of biological absorption $> 1,5$; «x» the element is found out with coefficient of biological absorption $1,1-1,5$; «-» the element has coefficient of biological absorption < 1 ; all the rest 14 elements (they are not given in the table) have coefficient of biological absorption < 1

Поскольку очевидны влияния природных и техногенных факторов на элементный состав эпифитных лишайников, мы произвели нормирова-

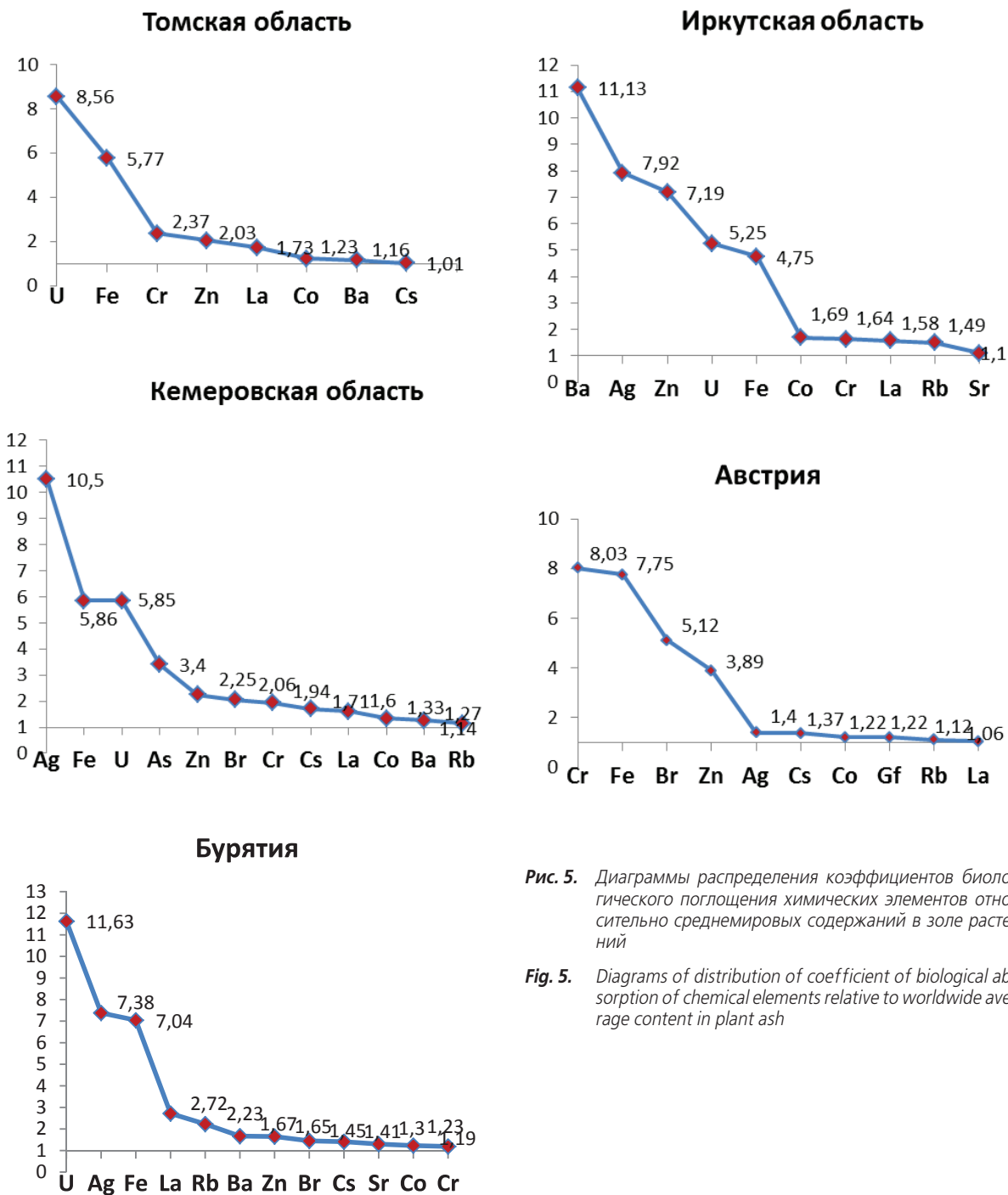


Рис. 5. Диаграммы распределения коэффициентов биологического поглощения химических элементов относительно среднемировых содержаний в золе растений

Fig. 5. Diagrams of distribution of coefficient of biological absorption of chemical elements relative to worldwide average content in plant ash

ние концентраций химических элементов в лишайниках к кларкам концентраций в верхней континентальной коре по Н.А. Григорьеву. Полученные коэффициенты концентрации K_k в каждой из выборок показали, что для лишайников Томской области и Альпийского региона $K_k > 1$ для всех элементов, для Кузнецкого Алатау выделяется K_k для Ag (2,3), для лишайников Бурятии K_k также для Ag (1,5), для лишайников Иркутской области K_k для Zn (1,9), для Ag (1,2).

Также нами вычислены коэффициенты биологического поглощения (K_p) относительно средне-

мировых содержаний изучаемого элемента в золе растений, подсчитанных В.В. Добровольским [16]. Коэффициенты биологического поглощения ($K_p > 1$) для химических элементов в лишайниках изучаемых нами регионов представлены в табл. 3.

Диаграммы распределения коэффициентов биологического поглощения для лишайников Томской области, Кузнецкого Алатау, Бурятии, Иркутской области, Австрии представлены на рис. 5.

В табл. 4 представлена матрица связей химических элементов изучаемых фоновых районов, которая показывает значимые связи практически

Таблица 4. Корреляционная матрица для выборки по фоновым районам в целом ($n=24$)
Table 4. Correlation Matrix for background regions selection in general ($n=24$)

Sm	Ce	Ca	Lu	U	Th	Cr	Yb	Au	Hf	Ba	Sr	Nd	As	Br	Cs	Ag	Tb	Sc	Rb	Fe	Zn	Ta	Co	Na	Eu	La	Sb	
1,0	0,6	-0,8	0,7	0,7	0,8	-0,1	0,3	-0,4	0,9	-0,1	-0,1	0,1	0,4	0,0	-0,3	0,4	0,7	0,8	0,2	0,7	-0,3	0,7	0,5	0,5	0,8	0,8	0,1 Sm	
	1,0	-0,7	0,0	0,6	0,7	-0,3	-0,3	-0,3	0,8	-0,1	0,4	0,0	0,1	0,2	-0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,5	-0,3	0,7	0,1	0,9	0,8	0,9	-0,3 Ce	
		1,0	-0,5	-0,8	-0,9	0,1	-0,3	0,3	-0,8	0,1	-0,4	-0,3	-0,2	0,1	0,3	-0,5	-0,5	-0,8	-0,6	-0,8	0,3	-0,8	-0,3	-0,7	-0,9	-0,9	0,1 Ca	
			1,0	0,5	0,4	0,1	0,8	-0,4	0,5	-0,1	-0,3	0,2	0,5	-0,1	-0,3	0,5	0,7	0,9	0,2	0,5	-0,2	0,5	0,6	-0,1	0,5	0,3	0,2 Lu	
				1,0	0,8	-0,1	0,3	-0,6	0,8	-0,2	0,4	0,3	0,3	-0,1	-0,5	0,3	0,4	0,6	0,6	0,6	-0,5	0,9	0,3	0,5	0,7	0,7	-0,1 U	
					1,0	-0,2	0,2	-0,4	0,9	-0,2	0,3	0,3	0,1	-0,2	-0,3	0,2	0,5	0,6	0,4	0,7	-0,4	0,8	0,2	0,7	0,9	0,9	-0,2 Th	
						1,0	0,2	0,5	-0,2	-0,2	-0,5	-0,3	0,2	-0,6	0,6	0,1	-0,2	-0,1	-0,1	0,4	0,1	-0,2	0,3	-0,4	-0,2	-0,4	1,0 Cr	
							1,0	-0,1	0,1	0,1	-0,2	0,3	0,4	-0,4	-0,2	0,5	0,3	0,7	0,4	0,3	0,1	0,2	0,6	-0,4	0,1	0,0	0,3 Yb	
								1,0	-0,5	0,5	-0,2	-0,2	-0,4	-0,2	0,5	-0,3	-0,4	-0,5	-0,2	-0,1	0,8	-0,6	0,0	-0,3	-0,3	-0,4	0,4 Au	
									1,0	-0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	-0,4	0,3	0,7	0,7	0,2	0,7	-0,4	0,8	0,2	0,8	0,9	0,9	-0,2 Hf	
										1,0	0,2	0,1	-0,3	0,1	-0,4	-0,4	-0,1	-0,1	-0,1	-0,4	0,9	-0,3	0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,3 Ba	
											1,0	0,5	-0,4	0,3	-0,3	0,2	-0,2	0,0	0,7	-0,1	-0,1	0,4	-0,3	0,5	0,1	0,4	-0,5 Sr	
												1,0	-0,4	0,0	-0,5	0,2	0,1	0,4	0,6	0,1	-0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,2	-0,4 Nd	
													1,0	-0,1	-0,2	0,4	0,3	0,4	0,0	0,2	-0,3	0,2	0,4	-0,1	0,1	0,0	0,4 As	
														1,0	-0,2	0,1	0,4	0,1	-0,2	-0,2	0,0	0,0	-0,3	0,3	0,0	0,1	-0,5 Br	
															1,0	0,2	-0,3	-0,4	-0,1	0,2	0,0	-0,3	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	0,6 Cs	
																1,0	0,4	0,7	0,5	0,6	-0,3	0,4	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3 Ag	
																	1,0	0,7	-0,2	0,6	-0,3	0,4	0,1	0,3	0,6	0,5	0,0 Tb	
																		1,0	0,4	0,7	-0,3	0,6	0,5	0,3	0,6	0,6	0,0 Sc	
																			1,0	0,4	0,7	-0,3	0,6	0,5	0,3	0,6	0,0 Rb	
																				1,0	0,3	-0,1	0,5	0,4	0,2	0,3	0,3	-0,1 Fe
																					1,0	-0,4	0,6	0,3	0,4	0,7	0,6	0,5 Fe
																						1,0	-0,6	0,2	-0,4	-0,4	0,0 Zn	
																							1,0	0,2	0,7	0,8	-0,1 Ta	
																								1,0	-0,2	0,3	0,1	0,3 Co
																									1,0	0,8	0,9	-0,4 Na
																									1,0	0,9	-0,1 Eu	
																										1,0	-0,3 La	
																											1,0 Sb	

всех литофильных элементов (TR, актиноидов). Особенно примечательно, что железо коррелирует почти с большинством изученных элементов. Множественные положительные связи наблюдаются и для скандия (Sm, Lu, U, Th, Hf, Nd, As, Ag, Tb). Для элементов преимущественно антропогенного происхождения (Cr, Br, Sb, Ag, Cs, As, Sr) такие связи отсутствуют, за исключением Zn-Ba-Au и Sr-Rb-Nd. Данное наблюдение подтверждает, что

влияние антропогенных источников на изучаемые фоновые районы минимально и в большей степени имеет место захват частиц, поступающих в атмосферу с почвенной пылью.

Анализ дендрограммы корреляционных матриц геохимического спектра золы лишайников фоновых районов в целом (рис. 6) показывает значимые корреляционные связи La-Eu-Hf-Th; Tb-Sc-Lu-Sm; Na-Ce; Ta-U; Rb-Sr; Zn-Ba; Sb-Cr. Что под-

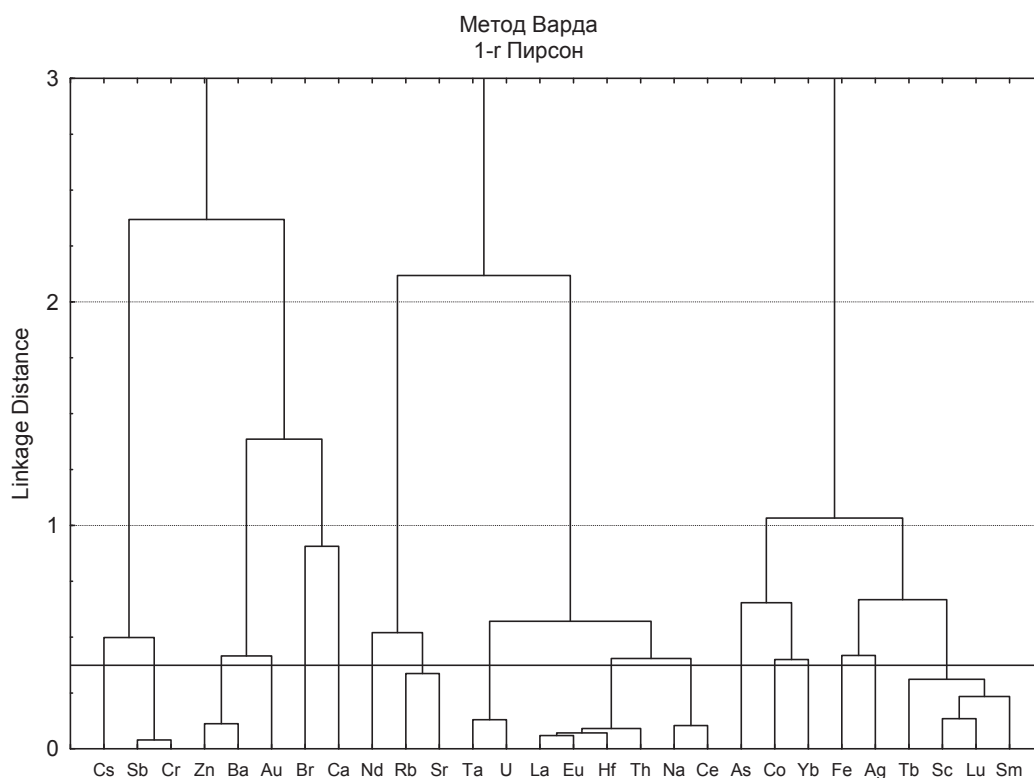


Рис. 6. Дендрограмма корреляционной матрицы (метод Варда, 1-Пирсон $r 0,05=0,37$, $n=24$)

Fig. 6. Dendrogram of correlation matrix (Ward method, 1-Pearson $r 0,05=0,37$, $n=24$)

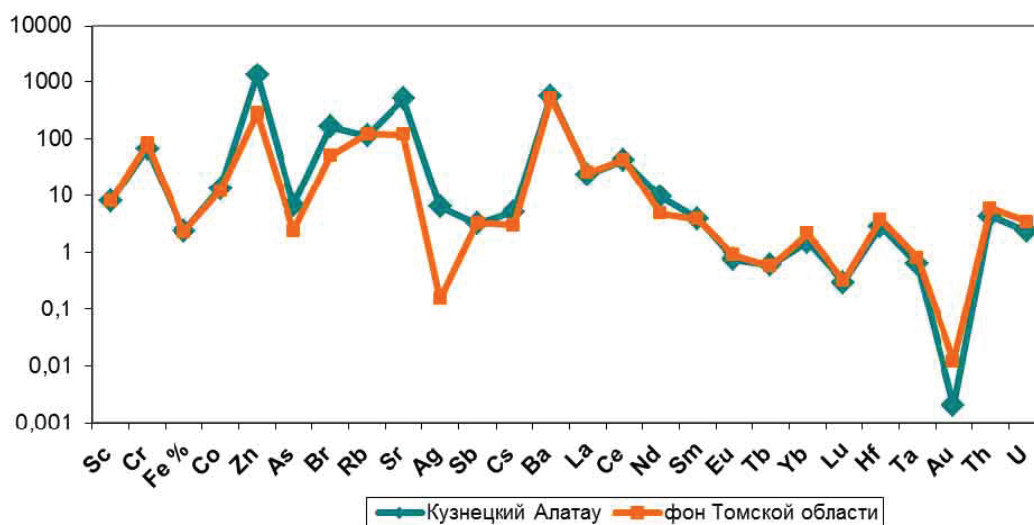


Рис. 7. Уровни содержания химических элементов в лишайниках фоновых районов Западносибирского региона, мг/кг в золе

Fig. 7. Levels of chemical elements content in lichens of background areas of Western-Siberian region, mg/kg in ash

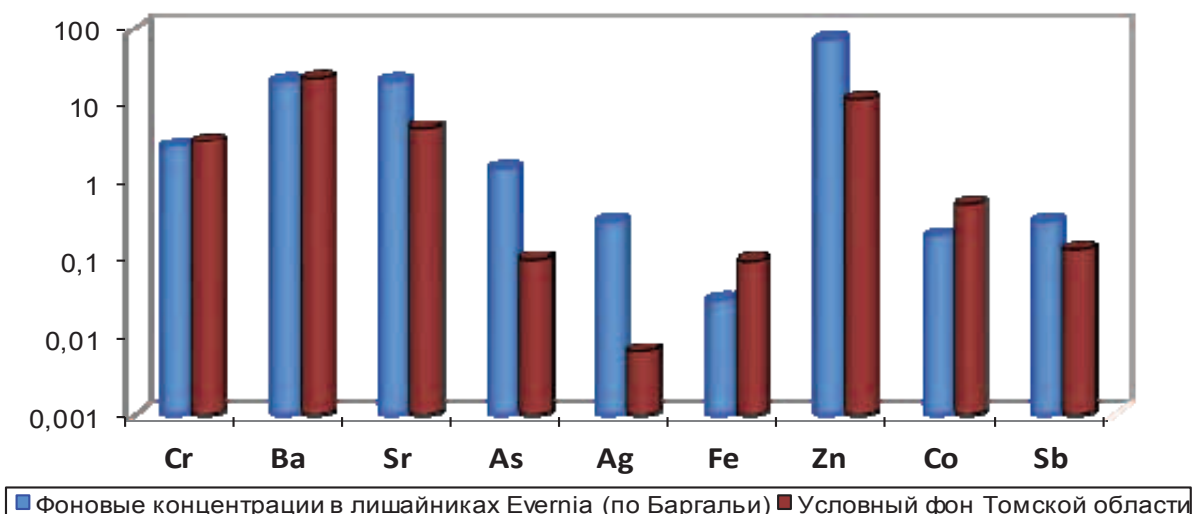


Рис. 8. Средние концентрации элементов в лишайниках Томского района (в пересчёте на сухое в-во) и фоновых территорий (по Р. Баргальи), в мг/кг. Шкала логарифмическая

Fig. 8. Average concentrations of elements in lichens of Tomsk region (equivalent to dry substance) and background areas (by R. Bargalie), mg/kg. The scale is logarithmic

тверждает вышеприведённый вывод о приоритетном поступлении следовых элементов в атмосферу от природных источников.

В результате сравнения между собой химического состава эпифитных лишайников, отобранных в различных регионах с низкой степенью антропогенной нагрузки, очевидно преобладание природного геохимического фактора. Абсолютные фоновые концентрации, вероятнее всего, установить маловероятно. Тем не менее, по материалам, представленным в данной работе, выбор фонового участка для Западной Сибири можно сделать в пользу Томского района (рис. 7), нивелируя лишь несколько повышенный уровень актиноидов вследствие определённого влияния Томск-Северской промышленной зоны. К тому же при выявлении фоновых концентраций в лишайниках в первую очередь должны рассматриваться относительно незагрязнённые места с климатическими и другими характеристиками среды, соответствующие таковым изучаемого района [2].

В подтверждение выбора фона для Сибирского региона приводится сравнение химического состава лишайника Томского района (преимущественно вид *Evernia*) с фоновыми концентрациями элементов в лишайниках-биомониторах того же вида (данные получены Р. Баргальи при обобщении информации о содержаниях элементов в лишайниках) (рис. 8).

Заключение

По результатам исследования можно с уверенностью судить о хороших биомониторных свойствах эпифитных лишайников и рекомендовать их в качестве основного объекта исследований при оценке как техногенной трансформации природных сред, так и степени влияния природных геохимических особенностей.

Нами установлено, что на химический состав эпифитных лишайников рассмотренных районов, практически не подверженных техногенному влиянию, влияет как перенос загрязняющих веществ, так и природные геохимические факторы.

Высокие концентрации в лишайниках урана, а также повышенные содержания Na, Rb, Sr, Ba, Hf, Ta, Th, группы редких земель отражают влияние гранитного субстрата района БЧП, имеющего радиогеохимическую специфику по Th и U.

Повышенные содержания Cr и Br, установленное в лишайниках Альп, отражают влияние нефтеперерабатывающих и металлообрабатывающих производств предприятий Центральной Европы.

Подстилающие породы отрогов Кузнецкого Алатау, имеющие повышенную радиоактивность, которая обусловлена неравномерным распределением естественных радиоэлементов, определяют повышение содержаний в лишайниках тория и урана. Увеличение концентраций Ag, As, Br, Ca, Cs, вероятно, обусловлено влиянием горнодобывающих и металлургических предприятий Кемеровской области.

Химический состав лишайников Иркутской области, характеризующийся повышенными содержаниями Ba, Sr, Nd, Zn, Co, определяется характером природного геохимического фона, связанного с выходом угольных пластов.

Наиболее низкие концентрации изученных элементов (в 1,5–3 раза, в случае концентраций Ba и Br в 10–15 раз ниже), в сравнении с другими изученными нами фоновыми участками, наблюдаются в лишайниках Томского района, имея лишь несколько повышенный уровень Yb, что может свидетельствовать об опосредованном влиянии предприятий ядерно-топливного цикла.

В дальнейшем при изучении химического состава лишайников, отобранных в зонах влия-

ния промышленных предприятий каждого из изученных регионов, несомненно, можно использовать полученные данные в качестве местного фона.

Что касается выбора регионального фона для Западной Сибири, на наш взгляд, наиболее всего

подходит элементный состав эпифитных лишайников Томского района, который характеризуется незначительным влиянием промышленных предприятий и отсутствием каких-либо выявленных геохимических аномалий коренных пород и подстилающей поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Израэль Ю.А. Глобальная система наблюдений. Прогноз и оценка изменений состояния окружающей среды. Основы мониторинга // Метеорология и гидрология. – 1974. – № 7. – С. 3–8.
2. Баргальи Р. Биогеохимия наземных растений / пер. с англ. И.Н. Михайловой. – М.: ГЕОС, 2005. – 457 с.
3. Галанин А.А., Глушкова О.Ю. Лихенометрия // Вестник РФИ. – 2003. – № 3. – С. 3–38.
4. Инсаров Г.Э., Инсарова И.Д. Оценка чувствительности лишайников к изменению климата // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – 2000. – Т. 17. – С. 106–121.
5. Пчелкин А.В. Использование лишайников для мониторинга изменений состояния природной среды // Научные аспекты экологических проблем России. – Москва: Наука, 2002. – С. 275–280.
6. Московченко Д.В., Валеева Э.И. Содержание тяжёлых металлов в лишайниках на Севере Западной Сибири // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. – 2011. – № 11. – С. 162–172.
7. 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.
8. Шатилова С.С. Геохимические особенности распределения микроэлементов в золе лишайников (*Evernia mesomorpha*) Томского района // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XI Междунар. симпозиума им. академика М.А. Усова студентов и молодых учёных. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – С. 619–621.
9. Bargagli R., Nimis P.L. Guidelines for the use of epiphytic lichens as biomonitors of atmospheric deposition of trace elements. Monitoring with Lichen – Monitoring Lichens. NATO Science Series IV, Earth and Environmental Science / Eds. P.L. Nimis, C. Scheidegger, P.A. Wolseley. – Dordrecht: Kluwer, 2002. – P. 295–299.
10. Окснер А.Н. Определитель лишайников СССР. Морфология, систематика и географическое распространение. Вып. 2. – Л.: Наука, 1974. – 284 с.
11. Bargagli R., D'Amato M.L., Iosco F.P. Lichen monitoring of metals in the San Rossore park: contrast with previous pine needle data // Environmental Monitoring and Assessment. – 1987. – V. 9. – P. 285–294.
12. Sloof J.E., Wolterbeek B.Th. Interspecies comparison of lichen as biomonitors of trace element air pollution // Environmental Monitoring Assessment. – 1993. – V. 25. – P. 149–157.
13. Страховенко В.Д., Щербов Б.Л., Хожина Е.И. Распределение радионуклидов и микроэлементов в лишайниковом покрове различных регионов Западной Сибири // Геология и геофизика. – 2005. – Т. 46. – № 2. – С. 206–216.
14. ГОСТ 27784–88. «Почвы. Метод определения зольности торфяных и оторфованных горизонтов почв». – М.: Изд-во стандартов. 1988. – 8 с.
15. Фортескью Дж. Геохимия окружающей среды / сокр. пер. с англ. И.И. Альтшулера, А.В. Мартынова. – М.: Прогресс, 1985. – 360 с.
16. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. – М.: Академия, 2003. – 400 с.
17. Современное формирование урановой осадочно-инфильтрационной (гидрогенной) минерализации Баргузино-Чивыркуйского перешейка на озере Байкал / А.А. Мясников и др. // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование: Труды II Всеросс. симпозиума с междунар. участием и VIII Всеросс. чтений памяти академика А.Е. Ферсмана. – Чита, 2008. – С. 93–96.
18. Новые данные о радиогеохимических особенностях природных сред Баргузино-Чивыркуйского перешейка (оз. Байкал) и Тункинской котловины / Л. П. Рихванов и др. // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Матер. IV Междунар. конф. – Томск, 2013. – С. 441–444.
19. Карта содержания урана (радия) территории России. Масштаб 1:10 000 000 / ред. Г.Н. Михайлов. – СПб.: Комитет Российской Федерации по геологии и использованию недр: Всероссийский научно-исследовательский институт разведочной геофизики, 1995.
20. Бязров Л.Г. Лишайники в экологическом мониторинге. – М.: Научный мир, 2002. – 336 с.
21. Role for lichen melanins in uranium remediation / J. McLean et al. // Nature. – 1998. – V. 391. – № 6668. – P. 645–650.
22. Sheppard M.I., Thibault D.H. Natural uranium concentrations of native plants over a low-grade body // Canadian Journal of Botany. – 1984. – V. 62. – P. 1069–1075.
23. Nierboer E., Richardson D.H.S. Lichens as monitors of atmospheric deposition // Atmospheric pollutants in Natural Waters // ed. by S.J. Eisenreich. – Ann Arbor, Mich.: Ann Arbor Science, 1981. – P. 339–388.
24. Арбузов С.И., Ершов В.В. Геохимия редких элементов в углях Сибири. – Томск, ИД «Д-принт», 2007. – 468 с.
25. Евлампиева Е.П., Панин М.С. Накопление цинка, меди, свинца лишайником в районе угледобывающего месторождения «Каражыра» // Вестник Томского государственного университета. – 2008. – № 314. – С. 196–200.

Поступила 30.06.2015 г.

UDC 550.47+504.064.36

ON THE ISSUE OF CHOOSING THE BACKGROUND CONCENTRATIONS OF CHEMICAL ELEMENTS IN THE EPIPHYTIC LICHENS

Tatiana S. Bolshunova,

JSC «TomskNIPIneft», 72, Mira Avenue, Tomsk, 634027, Russia;
National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue,
Tomsk, 634050, Russia. E-mail: BolshunovaTS@gmail.com

Leonid P. Rikhvanov,

National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue,
Tomsk, 634050, Russia. E-mail: Rikhvanov@tpu.ru

Natalia V. Baranovskaya,

National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk,
634050, Russia. E-mail: Natalia.baranovs@mail.ru

The relevance of the research. For comparison of data obtained in studies of polluted urban areas, it is necessary to have background levels of concentrations of the identified chemical elements in environment.

The main aim of the study is to evaluate the influence of ecological and geochemical factors on the levels of accumulation of chemical elements in epiphytic lichens collected in areas practically unaffected by anthropogenic activity.

The methods used in the study: the method of instrumental neutron activation analysis (data on 28 chemical elements in the ash of lichens); statistical analysis.

The results. It was determined that the lichen chemical composition reflects natural geochemical features of bed rocks and soils in the territory of their growing. The data indicate a fairly close levels of accumulation, which is defined as the confidence interval of defining 16 elements such as La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Th, Sc, Fe, Co, Ca, Na, Rb, Cs, and group of 12 elements: Cr, Zn, As, Br, Sr, Ag, Sb, Ba, Nd, Ta, Au, U, for which there are more significant differences in the assessment of their average for each of the background regions studied. Elemental composition of the epiphytic lichens on Tomsk region was recommended as regional background for Siberia. This area is characterized by negligible industrial influence and by absence of geochemical anomalies of bed rocks and underlying surface.

Kew words:

Atmosphere pollution, background areas, concentrations of chemical elements, epiphytic lichens, predominance of natural geochemical factor.

REFERENCES

1. Izraeli Yu.A. Globalnaya sistema nablyudeniya. Prognoz i otsenka izmeneniy sostoyaniya okruzhayushchey sredy. Osnovy monitoringa [Global observation system. Prediction and assessment of changes in environmental conditions. Fundamentals of monitoring]. *Meteorologiya i gidrologiya*, 1974, no. 7, pp. 3–8.
2. Bargagli R. *Trace elements in terrestrial plants. An ecophysiological approach to biomonitoring and biorecovery*. Berlin, Springer-Verlag, 1998. 324 p.
3. Galanin A.A., Glushkova O.Yu. *Likhenometriya* [Lichenometry]. *Vestnik RFFI*, 2003, no. 3, pp. 3–38.
4. Insarov G.E., Insarova I.D. Otsenka chuvstvitelnosti lishaynikov k izmeneniyu klimata [Assessment of lichen sensitivity to climate changes]. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ehkositem*, 2000, vol. 17, pp. 106–121.
5. Pchelkin A.V. *Ispolzovanie lishaynikov dlya monitoringa izmeneniy sostoyaniya prirodnoy sredy* [Lichen use for monitoring environmental condition changes]. *Nauchnye aspekty ekologicheskikh problem Rossii* [Scientific aspects of ecological problems in Russia]. Moscow, Nauka Publ., 2002. pp. 275–280.
6. Moskovchenko D.V., Valeeva E.I. Soderzhanie tyazhelykh metallov v lishaynikakh na Severe Zapadnoy Sibiri [Content of heavy metals in lichens in the north of Western Siberia]. *Vestnik ekologii, lesovedeniya i landshaftovedeniya*, 2011, no. 11, pp. 162–172.
7. Bolshunova T. S., Rikhvanov L.P., Baranovskaya N.V. Elementnyy sostav lishaynikov kak indikator zagryazneniya atmosfery [Ultimate Composition of Lichens as Indicator of Aerial Contamination]. *Ecology and Industry of Russia*, 2014, no. 11, pp. 26–31.
8. Shatilova S.S. Geokhimicheskie osobennosti raspredeleniya mikroelementov v zole lishaynikov (Evernia mesomorpha) Tomskogo rajona [Geochemical features of microelements distribution in lichen ash (Evernia mesomorpha) in Tomsk region]. *Problemy geologii i osvoeniya nedr. Trudy XI mezhdunarodnogo simpoziuma imeni akademika M.A. Usova studentov i molodykh uchennykh* [Proc. of XI M.A. Usov International symposium of students and young researches. Problems in geology and exploration of subsoil assets]. Tomsk, TPU Publ. house, 2007. pp. 619–621.
9. Bargagli R., Nimis P.L. Guidelines for the use of epiphytic lichens as biomonitors of atmospheric deposition of trace elements. *Monitoring with Lichen – Monitoring Lichens. NATO Science Series IV, Earth and Environmental Science*. Eds. P.L. Nimis, C. Scheidegger, P.A. Wolseley. Dordrecht, Kluwer, 2002. pp. 295–299.
10. Oksner A.N. *Opredelitel lishaynikov SSSR. Morfologiya, sistematika i geograficheskoe rasprostraneniye* [Lichen indicator in USSR. Morphology, systematics and geographical propagation]. Leningrad, Nauka Publ., 1974. Iss. 2, 284 p.
11. Bargagli R., D'Amato M.L., Iosco F.P. Lichen monitoring of metals in the San Rossore park: contrast with previous pine needle data. *Environmental Monitoring and Assessment*, 1987, vol. 9, pp. 285–294.
12. Sloof J.E., Wolterbeek B.Th. Interspecies comparison of lichen as biomonitors of trace element air pollution. *Environmental Monitoring Assessment*, 1993, vol. 25, pp. 149–157.
13. Strakhovenko V.D., Shcherbov B.L., Khozhina E.I. Raspredelenie radionuklidov i mikroelementov v lishaynikovom pokrove Zapadnoy Sibiri [Distribution of radionuclides and trace elements in

- the lichen cover of Western Siberia]. *Russian Geology and Geophysics*, 2005, vol. 46, no. 2, pp. 206–216.
14. GOST 27784–88. *Pochvy. Metod opredeleniya zolnosti torfyanykh i otorfovannykh gorizontov pochv* [State Standard 27784–88. Soils. Methods for determining ash content in peat and peaty soil horizons]. Moscow, Izdatelstvo standartov, 1988. 8 p.
 15. Forteskyu Dzh. *Geokhimiya okruzhayushchey sredy* [Geochemistry of environment]. Translated from English by I.I. Altshuler, A.V. Martynov. Moscow, Progress Publ., 1985. 360 p.
 16. Dobrovolskiy V.V. *Osnovy biogeokhimii* [Fundamentals of biogeochemistry]. Moscow, Akademiya Publ., 2003. 400 p.
 17. Myasnikov A.A. Sovremennoe formirovanie uranovoy osadochno-infiltratsionnoy (gidrogennoy) mineralizatsii Barguzino-Chivyrkuyskogo peresheyka na ozere Baykal [Current formation of uranium sedimentary-infiltration (hydrogenous) mineralization of Barguzin-Chivyrkuy strait on the lake Baikal]. *Mineralogiya i geokhimiya landshafta gornorudnykh territoriy. Sovremennoe mineraloobrazovanie: Trudy II Vserossiyskogo simpoziuma s mezhdunarodnym uchastiem i VIII Vserossiyskikh chteniy pamyati akademika A.E. Fersmana* [Mineralogy and geochemistry of ore mining territory landscape. Modern mineral-formation. Proc. of the II All-Russian symposium with international participation and VIII All-Russian readings in memory of academician A.E. Fersman]. Chita, 2008. pp. 93–96.
 18. Rikhvanov L.P. Novye dannye o radiogeokhimicheskikh osobennostyakh prirodnkh sred Barguzino-Chivyrkuyskogo peresheyka (oz. Baykal) i Tunkinskoy kotloviny [New data on radiogeochemical features of the environment of Barguzin-Chivyrkuyskogo peresheyka (oz. Baykal) and Tunkinskoy hollow]. *Materialy IV Mezhdunarodnoy konferentsii Radioaktivnost i radioaktivnye ehlementy v srede obitaniya cheloveka* [Proc. of IV International conference. Radioactivity and radioactive elements in the environment]. Tomsk, 2013. pp. 441–444.
 19. *Karta sodержaniya urana (radiya) territorii Rossii. Masshtab 1:10000000* [Map of uranium (radium) content in Russia. 1:10000000]. Ed. by G.N. Mikhaylov. St. Petersburg, 1995.
 20. Byazrov L.G. *Lishayniki v ekologicheskom monitoringe* [Lichens in ecological monitoring]. Moscow, Nauchny mir Publ., 2002. 336 p.
 21. McLean J. Role for lichen melanins in uranium remediation. *Nature*, 1998, vol. 391, no. 6668, pp. 645–650.
 22. Sheppard M.I., Thibault D.H. Natural uranium concentrations of native plants over a low-grade body. *Canadian Journal of Botany*, 1984, vol. 62, pp. 1069–1075.
 23. Nierboer E., Richardson D.H.S. Lichens as monitors of atmospheric deposition. *Atmospheric pollutants in Natural Waters*. Ed. by S.J. Eisenreich. Ann Arbor, Ann. Arbor Science Publications, 1981. pp. 339–388.
 24. Arbuzov S.I., Ershov V. *Geokhimiya redkikh elementov v uglyakh Sibiri* [Geochemistry of rare elements in coals of Siberia]. Tomsk, D-print Publ., 2007. 468 p.
 25. Evlampieva E.P., Panin M.S. Nakoplenie tsinka, medi, svintsya lishaynikom v rayone ugledobyvayushchego mestorozhdeniya «Karazhyra» [Accumulation of zinc, copper, lead by lichen within the coal mining deposit «Karazhyra»]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2008, no. 314, pp. 196–200.

Received: 30 June 2015.