

- efficiency of heatpumping technology of heat utilization in air turbo-compressors]. *Nauchnyy vestnik NGU*, 2010, no. 6, pp. 78–82.
12. *Bezdonnye zapasy. Ugol kak osnova syrevoy bazy Ukrainy* [Bottomless supplies. Coal as basis of source of raw materials of Ukraine]. Available at: <http://www.geonews.com.ua/news/detail/scribd.com/doc/1034528/> (accessed 15 February 2013).
 13. Sadovenko I.A., Inkin A.V. Podzemnaya gidroelektrostantsiya kak ekologicheskiy i energeticheskiy regulyator [Underground hydroelectric power station as ecological and power regulator]. *Ugol Ukrainy – Coal of Ukraine*, 2002, no. 5, pp. 32–34.
 14. Matess G.I., Otting R.A., Schulz M.V. Effect of coal mine waters of Nordrhein-Westphalia in groundwater. *Journal of Jans Publications*, 1982, no. 139, pp. 271–278.
 15. Sadovenko I.A., Inkin A.V. Chislennoe issledovanie osobennostey teplovogo polya vokrug podzemnogo gazogeneratora [Numerical research of features of the thermal field around an underground gazogene]. *Nauchnyy vestnik NGU*, 2012, no. 6, pp. 11–20.
 16. Zholudev S.V. Raschet teplovogo rezhima gazogeneratora pri podzemnoy gazifikatsii ugley [Calculation of gazogene thermal mode at underground gasification of coals]. *Vestnik Dnepropetrovskogo Universiteta. Seriya Geologiya, Geografiya – Announcer of the Dnepropetrovsk university. Series are geology, geography*, 2003, no. 7, pp. 11–20.
 17. Tishkov V.V. Osobennosti formirovaniya tekhnogennoy pronitsaemosti v krovle ugolnogo plasta pri podzemnoy gazifikatsii uglya [Features of forming technogenic permeability in a coal bed roof at coal underground gasification]. *Nauchnyy vestnik NGU*, 2012, no. 1, pp. 23–28.
 18. Sadovenko I.A., Inkin A.V. Otsenka effektivnosti teplovogo modulya na osnove resursnogo potentsiala shakhty [Estimation thermal module efficiency on the basis of mine resource potential]. *Vestnik KNU*, 2013, no. 3, pp. 123–127.
 19. Bain J.G., Blowes D.W., Robertson W.D. Modelling of sulphide oxidation with reactive transport at a mine drainage site. *Journal of Contaminant Hydrology*, 2000, no. 5, pp. 23–47.
 20. *Flow and Transport in Fractured Porous Media*. Ed. by Teutsch G. Stuttgart, Springer Verlag, 2005. 465 p.

УДК 550.47+504.064.36

БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СФАГНОВЫХ МХОВ И ЭПИФИТНЫХ ЛИШАЙНИКОВ В РАЙОНАХ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Межибор Антонина Михайловна,

канд. геол.-минерал. наук, доцент кафедры геоэкологии и геохимии
Института природных ресурсов ТПУ, Россия, 634050, г. Томск,
пр. Ленина, д. 30. E-mail: amezhibor@gmail.com

Большунова Татьяна Сергеевна,

инженер 1 категории отдела экологического нормирования
ОАО «ТомскНИПИнефть», 634027, г. Томск, пр. Мира, д. 72; аспирант
кафедры геоэкологии и геохимии Института природных ресурсов ТПУ,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: bts26@mail.ru

Ввиду отсутствия достаточного количества информации по загрязнению атмосферного воздуха различными химическими элементами в районах добычи нефти и газа, в том числе в Томской области, авторами был применен метод исследования загрязнения атмосферы с использованием сфагновых мхов и эпифитных лишайников. Целью исследований является оценка состояния окружающей среды в нефтедобывающих районах Томской области посредством использования биомониторов (эпифитных лишайников и сфагновых мхов). Для получения данных, зола растений была проанализирована методом ИНАА на количественное содержание в них 28 химических элементов. В результате установлено, что для лишайников характерно повышенное, по сравнению с мхами, концентрирование Sc, Br, Ce, Sn, Eu, Tb, La, Lu, Th, U, а для мхов, по сравнению с лишайниками, – Rb, Ag, Cs, Ba, Au. Содержания Na, Ca, Cr, Fe, Co, Zn, As, Sr, Sb, Yb, Hf, Ta в исследуемых образцах находится приблизительно на одном уровне. В сравнении с литературными данными для Западной Сибири и других районов мира изучаемая территория отличается повышенными концентрациями Cr, Fe, Zn, Sb, Sc, Sr, Yb, Hf, U. Это может быть обусловлено как геохимическими, географическими и климатическими особенностями исследуемой территории, так и влиянием локальных источников загрязнения атмосферы на нефтяных месторождениях.

Ключевые слова:

Нефтегазодобывающий комплекс Томской области, биомониторы, сфагновый мох, лишайники-эпифиты, концентрации химических элементов.

Для определения масштабов воздействия промышленности на окружающую среду, с целью последующей разработки мероприятий и рекомендаций по снижению этого воздействия, используются разнообразные методы и методики. Так, для

определения в составе атмосферного воздуха газообразных загрязнителей традиционно используются газоанализаторы, позволяющие определить в атмосфере содержания таких веществ, как оксиды углерода, азота, серы. Реже используются аспира-

торы, позволяющие зафиксировать загрязнение атмосферы тяжелыми металлами. Однако использование традиционных методов оценки загрязнения атмосферы не позволяет определить содержания многих токсичных химических элементов, в том числе редких и радиоактивных, поступление которых в окружающую среду увеличилось в несколько раз за последнее столетие.

Воздух является подвижной средой, и применение методов исследования его химического состава на стационарных постах или с использованием газоанализаторов для решения экологических задач не всегда рационально, т. к. требует либо установки большого количества автоматических станций, либо постоянного отбора проб с большой частотой (6 раз в сутки). В этом случае использование биологических индикаторов – аккумуляторов атмосферных выпадений – является наилучшим способом решения этой проблемы [1]. К таким биологическим индикаторам относятся, например, мхи и лишайники.

В научной литературе термины «биоиндикатор» (организм, который дает информацию о качестве окружающей среды) и «биомонитор» (организм, который даёт количественную информацию о качестве окружающей среды) используются отдельно, хотя некоторые организмы могут выполнять функцию и биоиндикаторов, и биомониторов одновременно [2]. В данной работе рассматривается применение эпифитных (произрастающих на стволах и ветвях деревьев) лишайников и сфагновых мхов верховых болот в качестве аккумулятивных биомониторов.

Лишайники и мхи являются совершенно не связанными между собой группами организмов, хотя имеют некоторые общие для биомониторинга свойства. Они встречаются почти во всех регионах, устойчивы к экстремальным природным условиям. Поскольку эти организмы не имеют корневой системы, их питание является атмосферным и, соответственно, их элементный состав в обобщённом виде отражает состав химических элементов в атмосфере, находящихся в газообразном или растворённом состоянии, а также в виде твёрдых частиц [2].

Лишайники представляют собой симбиоз микобионта и фотобионта. Эти организмы широко признаны хорошими биомониторами в связи со способностью накапливать элементы в концентрациях, превышающих их физиологические потребности, и удерживать их в талломе (теле) долгое время [2]. Поскольку питание лишайников атмосферное, они получают вещества мокрых и сухих выпадений посредством захвата их всей поверхностью таллома.

К сфагновым мхам относятся низкие (высотой до 10–20 см) растения, встречающиеся на заболоченных участках земли, состоящие из одного или нескольких стебельков со спирально расположенными на них листьями. Корней мхи не имеют: корни заменяются волосковидными многоклеточны-

ми образованиями, так называемыми ризоидами. Сфагновые мхи верховых болот способны удерживать химические элементы, поступающие в болото из атмосферы, благодаря особым «воздушным клеткам». Именно в связи с морфологическими особенностями мхи являются индикаторами широкого спектра загрязнителей [3]. Так как верховые болота лишены минерального питания от грунтовых вод, то химический состав мхов, торфа и болотных вод определяется преимущественно атмосферными осадками [4].

География использования биомониторинга с помощью лишайников для оценки загрязнения воздуха довольно обширна. По опубликованным материалам В.Д. Страховенко, Б.Л. Щербова и др. [5], средние содержания микроэлементов в лишайниках на территории Западной Сибири находятся на уровне фоновых для территории арктических регионов Евразии. Отмечаются лишь повышенные значения для кадмия и марганца в Алтайском Крае и Республике Алтай и свинца, хрома во всём регионе.

Проведенные Д.В. Московченко в 2004 г. исследования тяжелых металлов в торфах и мхах в Тюменской области [6] показали, что для сфагновых мхов характерно накопление кадмия, свинца, кобальта и цинка. Отмечено, что для сфагновых мхов Западной Сибири характерны повышенные содержания марганца и железа, связанные с высокой подвижностью этих элементов в болотной среде.

Информация о состоянии природной среды Западной Сибири, в том числе Томской области, по данным биомониторинга является скудной и недостаточной, так как в исследования включается узкий спектр химических элементов. Мониторинговые исследования обычно проводятся стандартными методами с определением ограниченного перечня загрязняющих веществ в воздухе, тогда как представляется весьма интересным получить более обширную информацию о влиянии источников загрязнения атмосферы объектами нефтяных месторождений, выявить группу типичных элементов-загрязнителей в изучаемом районе.

Территория севера и северо-запада Томской области испытывает высокую техногенную нагрузку в связи с преимущественным сосредоточением в этом районе нефтегазодобывающих предприятий. Цель данных исследований – оценить состояние окружающей среды в районах нефтегазодобывающего комплекса (НГДК) Томской области посредством использования биомониторов (эпифитных лишайников и сфагновых мхов) и определить степень загрязнения атмосферы при разработке нефтегазовых месторождений.

Методика исследований

Отбор проб сфагновых мхов и лишайников-эпифитов проводился в основных нефтедобывающих районах Томской области: Каргасокском, Александровском и Парабельском (рис. 1). Всего было получено 22 пробы.

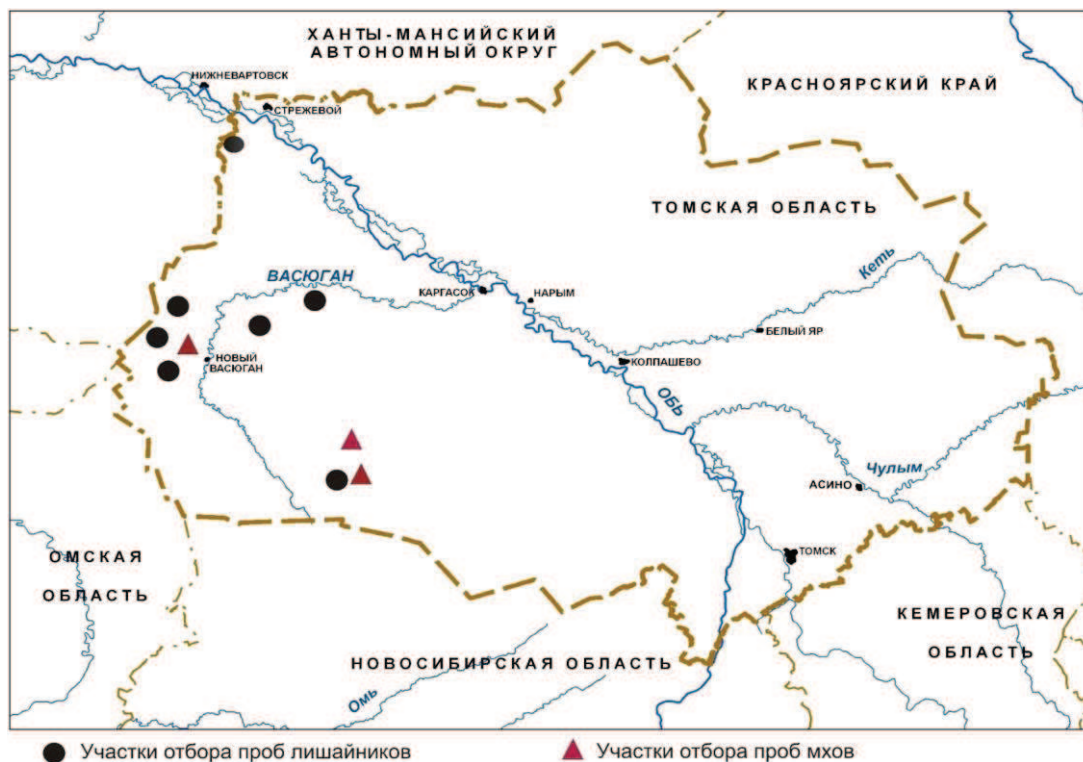


Рис. 1. Обзорная карта-схема расположения пунктов отбора проб лишайников и мхов

Образцы эпифитных лишайников были отобраны в августе–сентябре 2011–2012 гг., сфагновых мхов – в 2012 г. на территории 7 нефтяных месторождений. Расположение точек опробования определено относительно источников воздействия на природную среду (разрабатываемых месторождений) и территориальной доступностью. Отбор проб выполнен как вблизи источников выбросов, так и на значительном удалении от них. Образцы лишайников отбирались со стволов деревьев на высоте 1,5–2,0 м от поверхности земли, чтобы по возможности исключить загрязнение частицами почвы. Сфагновые мхи отбирались с использованием одноразовых перчаток и ножа из нержавеющей стали. Пробы лишайников и мхов помещали в герметичные пластиковые пакеты.

При проведении полевых работ принимались во внимание эпифитные лишайники следующих видов: *Hypogymnia physodes*, *Evernia Mesomorpha*, *Usnea hirta*, *Bryoria Nadvornikiana*, *Bryoria fukcellata*, *Parmelia Sulcata*, *Hypogymnia Vitala*, *Melanohalea olivacea*, *Lobaria pulmonaria*. На верховых болотах были отобраны мхи видов *Sphagnum Fuskum* и *Pleurosium Schreberi*. Виды лишайников и мхов были определены сотрудниками Томского государственного университета В.В. Конева и А.Л. Борисенко.

В лаборатории образцы проб были очищены от посторонних частиц (коры, хвои и других включений) и высушены при комнатной температуре. Для аналитических исследований готовились лишайники наиболее распространенных видов: *Ever-*

nia Mesomorpha, *Usnea Subfloridana*, *Hypogymnia physodes*, *Parmelia Sulcata*. Лишайники разных видов в пробах смешаны, так как не различаются по характеру накопления химических элементов [5]. Количественное содержание каждого вида в пробе представлено в зависимости от количества собранного материала.

Для достижения равномерного распределения химических элементов внутри пробы образцы были гомогенизированы с помощью электрической кофемолки (нержавеющая сталь). Измельчение проб в агатовой ступке не представлялось возможным вследствие волокнистой структуры растительных образцов. Растительные гомогенизированные образцы озолялись в муфельной печи. В течение часа температуру довели до 100 °С, затем озоляли пробы при температуре 550 °С согласно ГОСТ 277848–8. «Почвы. Метод определения зольности торфяных и оторфованных горизонтов почв». Озоление растительных проб позволяет снизить вероятность возникновения погрешностей от органической части и улучшает репрезентативность результатов благодаря концентрированию элементов в пробах. Подготовленные образцы после остывания взвешивались (по 100 мг) и тщательно упаковывались в пакетики из фольги. Для количественного анализа на содержание химических элементов в лишайниках и мхах использовался современный высокочувствительный ядерно-физический метод инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА), выполненный в ядерно-геохимической лаборатории кафедры геоэкологии и геохи-

мии Томского политехнического университета (ТПУ) (аналитик с.н.с. А.Ф. Судыко).

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. Метод использовался, в том числе, для изучения содержаний химических элементов в растениях. Например, сопоставление данных лаборатории с паспортными значениями при использовании стандарта МАГАТЭ «Лист берёзы» показало хорошую сходимость [7].

Концентрации химических элементов в пробах были пересчитаны на единицу сухой массы с помощью коэффициента озоления, рассчитанного для проб лишайника и мха.

Обработка результатов осуществлялась с помощью программного продукта Excel, были проанализированы данные по концентрациям 28 элементов. В некоторых случаях была произведена выбраковка крайних значений.

Результаты и их обсуждение

В целом содержания химических элементов в сфагновых мхах и эпифитных лишайниках изучаемой территории Томской области незначительно отличаются от литературных данных (таблица). Для сравнения полученных результатов нами были использованы опубликованные материалы по концентрациям химических элементов в мхах и лишайниках на территории Западной Сибири [6, 8–10], Северных районов Евразии и Канады [11], и Германии [12, 13]. Северные территории имеют сходные климатические условия с Томской областью. Опубликованной информации, касающейся содержаний редкоземельных элементов в мхах и лишайниках, крайне мало, поэтому для сравнения были использованы результаты, полученные при проведении мониторинга в Германии.

Содержания химических элементов в сфагновых мхах

В сравнении с имеющимися данными других исследователей (таблица), сфагновые мхи северо-западной и западной территорий (район НГДК) Томской области характеризуются более высокими содержаниями железа. Концентрации остальных элементов близки к значениям для сфагновых мхов Западной Сибири по данным Л.Г. Бабешиной [8]. Согласно Л.Г. Бабешиной, изменение природно-климатических условий с юга на север не влияет на количественное содержание химических элементов в сфагновых мхах. В сравнении с данными по некоторым металлам для севера Западной Сибири [6], содержания Cr и Fe выше в исследованных нами мхах, а содержания Co ниже, для Zn характерны примерно одинаковые значения. По другим регионам территории России данных очень мало. В Вологодской области были определены содержания нескольких металлов (таблица): содержания

Cr, Zn, Sb и Ag выше, чем в исследованных нами мхах, содержания Cr и Co ниже.

При сопоставлении результатов аналитических исследований сфагновых мхов Томской области и Германии (округ Гессен) [12] отмечается, что во мхах Германии содержится больше Ca (в 2,3 раза), Cr (в 1,7 раза), Zn (в 1,5 раза), содержания остальных элементов, по которым есть данные, находятся примерно на одном уровне. Для исследованных сфагновых мхов в районе «Черный лес» (Schwarzwald) [13] характерны более низкие, по сравнению с нашими данными, содержания лантаноидов, за исключением Eu (таблица).

На рис. 2 представлены кривые распределения химических элементов в исследованных пробах сфагновых мхов верховых болот в сравнении со средними содержаниями по Западной Сибири. Отмечены максимальные концентрации химических элементов, превышающие средние значения для сфагновых мхов Западной Сибири [8]: Na (0,097 %), Ca (0,49 %), Sc (0,29 мг/кг), Cr (6,94 мг/кг), Fe (0,103 %), Zn (63,14 мг/кг), Ba (87,6 мг/кг), La (1,12 мг/кг), Ce (1,95 мг/кг), Eu (0,042 мг/кг), Yb (0,12 мг/кг), Lu (0,016 мг/кг), Hf (0,32 мг/кг), Th (0,23 мг/кг). В целом эти значения незначительно превышают среднее для Западной Сибири (в 1,2–1,9 раз). Исключение составляют Sc (более чем в 2 раза) и Fe (в 6 раз).

Накопление натрия в верхних интервалах сфагновых болот в целом характерно для территорий расположения нефтегазовых месторождений Томской области [14]. Повышенные по сравнению со средним для Западной Сибири содержания кальция и бария в верховых сфагновых болотах (в слое живого мха) в районах НГДК Томской области отмечались и ранее [14]. При ранее проведенных исследованиях болот Томской области повышенные содержания Sc, Hf и лантаноидов в слое живого мха были также зафиксированы в одном из болот, расположенных недалеко от места разработки нефтяного месторождения [4, 14]. Поступление данных элементов в мох может происходить либо при ветровом переносе с частицами пыли и почвы, либо в результате антропогенной деятельности. Повышенные содержания железа объясняются региональными особенностями.

Не исключено также поступление химических элементов в природные экосистемы в результате дальних переносов от разнообразных антропогенных и природных источников [2, 15].

Содержания химических элементов
в эпифитных лишайниках

Сопоставление результатов содержаний химических элементов в лишайниках изучаемого района с опубликованными данными [9, 11, 13] показывает, что содержания Cr, Fe, Zn, Sb, Sc, Yb, U в изученных нами пробах в среднем в 1,5–3 раза выше (таблица). Литературные данные отражают небольшой спектр исследуемых элементов. Для лишайников севера Западной Сибири характерны бо-

Таблица. Содержания химических элементов (мг/кг, в пересчёте на сухое вещество) в сфагновых мхах и эпифитных лишайниках Томской области в сравнении с литературными данными

Хим. элементы, мг/кг	Мхи					Лишайники				K _c
	Томская обл., наши данные, среднее $\pm \sigma$ (7 проб)	Север Зап. Сибири [6]	Зап. Сибирь [8]	Вологодская область [10]	Германия: Гессен [12], Шварцвальд [13]	Томская обл., наши данные, среднее $\pm \sigma$ (15 проб)	Северные районы Евразии и Канады [11]	Север Зап. Сибири, участки бурения [9]	Шварцвальд, Германия [13]	
Na, %	$0,031 \pm 0,01$ 0,018–0,048	–	0,054	–	0,03	$0,032 \pm 0,01$ 0,011–0,065	–	–	–	1,0
Ca, %	$0,18 \pm 0,06$ 0,106–0,489	–	0,25	–	0,41	$0,21 \pm 0,09$ 0,11–0,482	0,76	–	–	1,2
Sc	$0,20 \pm 0,06$ 0,10–0,29	–	0,14	–	–	$0,38 \pm 0,12$ 0,21–0,59	0,18	–	–	1,9
Cr	$4,0 \pm 1,5$ 2,4–6,9	2,71	5,3	6,3	6,7	$5,5 \pm 1,5$ 2,9–8,3	1,6	0,81	–	1,4
Fe, %	$0,069 \pm 0,02$ 0,031–0,103	0,0110	0,0171	0,0265	0,07	$0,087 \pm 0,03$ 0,038–0,140	0,048	0,022	–	1,3
Co	$0,63 \pm 0,27$ 0,17–0,98	0,96	1,3	0,07	0,55	$0,52 \pm 0,12$ 0,34–0,71	0,51	0,30	–	0,8
Zn	$35,8 \pm 15,6$ 16,5–63,1	32,51	33	46	53,98 (58,21)'	$47,8 \pm 13,7$ 31,8–72,9	24,1	13,5	–	1,3
As	$0,17 \pm 0,09$ 0,01–0,26	–	0,91	–	–	$0,19 \pm 0,07$ 0,01–0,32	0,26	–	–	1,1
Br	$3,0 \pm 1,0$ 1,8–4,7	–	5,5	–	–	$5,5 \pm 1,9$ 3,2–9,7	–	–	–	1,8
Rb	$12,8 \pm 6,2$ 6,0–22,0	–	23	–	10,48	$8,2 \pm 1,7$ 6,1–12,9	–	–	–	0,6
Sr	$17,1 \pm 7,8$ 13,3–39,8	–	11	–	12,62	$15,1 \pm 4,7$ 9,5–18,0	–	–	–	0,8
Ag	$0,01 \pm 0,002$ 0,006–0,27	–	–	0,53	0,02	$0,01 \pm 0,001$ 0,009–0,01	–	–	–	1,0
Sb	$0,10 \pm 0,03$ 0,06–0,15	–	0,13	0,22	–	$0,12 \pm 0,04$ 0,05–0,23	0,08	–	–	1,2
Cs	$0,20 \pm 0,09$ 0,11–0,37	–	0,39	–	–	$0,17 \pm 0,05$ 0,11–0,28	–	–	–	0,9
Ba	$31,3 \pm 13,5$ 8,4–87,6	–	45	–	–	$26,3 \pm 6,2$ 16,2–41,9	–	–	–	0,8
La	$0,70 \pm 0,24$ 0,26–1,12	–	0,86	–	0,38'	$1,23 \pm 0,23$ 0,63–1,53	–	–	1,96	1,8
Ce	$1,22 \pm 0,4$ 0,62–1,95	–	1,6	–	0,794'	$2,01 \pm 0,55$ 1,08–2,79	–	–	4,46	1,6
Sm	$0,12 \pm 0,04$ 0,08–0,19	–	0,15	–	0,063'	$0,19 \pm 0,05$ 0,11–0,26	–	–	0,43	1,6
Eu	$0,02 \pm 0,009$ 0,011–0,042	–	0,03	–	0,14'	$0,045 \pm 0,011$ 0,025–0,055	–	–	0,09	2,3
Tb	$0,013 \pm 0,005$ 0,005–0,19	–	0,02	–	0,007'	$0,025 \pm 0,009$ 0,010–0,045	–	–	0,05	1,9
Yb	$0,060 \pm 0,03$ 0,022–0,12	–	0,06	–	0,026'	$0,073 \pm 0,025$ 0,030–0,10	–	–	0,18	1,2
Lu	$0,007 \pm 0,002$ 0,004–0,016	–	0,01	–	0,004'	$0,016 \pm 0,009$ 0,006–0,025	–	–	0,03	2,3
Hf	$0,10 \pm 0,03$ 0,06–0,32	–	0,12	–	–	$0,17 \pm 0,09$ 0,05–0,40	–	–	–	1,3
Ta	$0,024 \pm 0,01$ 0,013–0,042	–	–	–	–	$0,031 \pm 0,009$ 0,021–0,051	–	–	–	1,3
Au	$0,002 \pm 0,0009$ 0,001–0,008	–	–	–	–	$0,001 \pm 0,0001$ 0,0006–0,002	–	–	–	0,5
Th	$0,14 \pm 0,05$ 0,06–0,26	–	0,18	–	–	$0,25 \pm 0,11$ 0,10–0,38	–	–	–	1,8
U	$0,08 \pm 0,03$ 0,02–0,10	–	0,11	–	–	$0,15 \pm 0,06$ 0,10–0,28	0,7	–	–	1,9
Ad, %	3,51	–	–	1,84	–	3,68	–	–	–	–
La/Yb	11,7	–	14,3	–	–	16,8	–	–	10,8	–
Th/U	1,8	–	1,6	–	–	1,6	–	–	–	–

Примечание: σ – стандартное отклонение; в знаменателе представлены минимальные и максимальные содержания; K_c – отношение концентраций элементов в лишайниках к концентрациям во мхах; Ad – зольность.

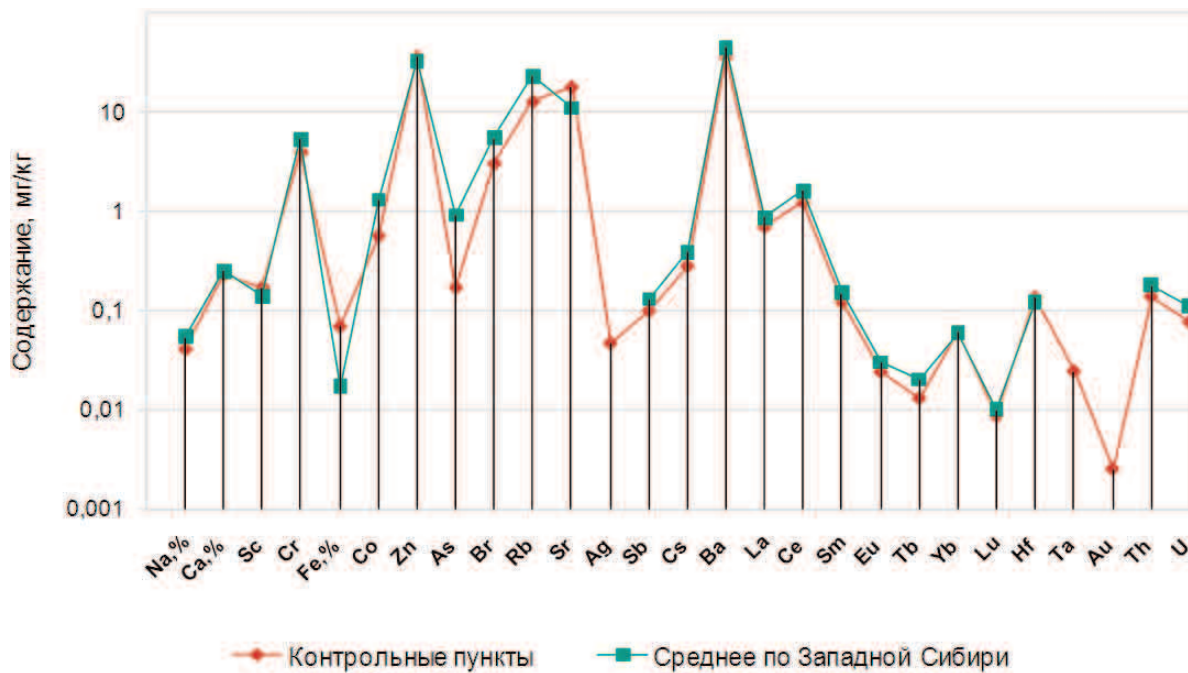


Рис. 2. Содержания химических элементов в исследованных пробах сфагновых мхов (сухое вещество, мг/кг) в сравнении со средними значениями для Западной Сибири (по Л.Г. Бабешиной [8])

лее низкие, в сравнении с нашими данными, содержания металлов Cr, Fe, Co и Zn. В сравнении с северными районами Евразии и Канады в лишайниках Томской области отмечаются более высокие уровни накопления Sc (в 2,1 раз), Cr (в 3,4 раза), Fe (в 1,8 раз), Zn (в 2 раза), Sb (в 1,5 раза) U (в 2,1 раза). Более низкие содержания отмечены для Ca (в 3,6 раз), содержания Co и As примерно на одном уровне. Для лишайников Томской области характерны более низкие содержания лантаноидов, чем для лишайников Германии [13] (таблица).

Повышенное содержание железа в лишайниках Томской области, по сравнению с другими регионами, обусловлено, вероятно, привносом частиц почв, для которых характерны высокие уровни содержания данного элемента в поверхностных горизонтах (региональная геохимическая особенность). Повышенные содержания Sb и U могут быть связаны с дальним переносом частиц [2, 15]. Кроме того, Sb, наряду с Br, является индикаторным элементом нефтедобывающего комплекса [7].

Повышенные концентрации Sc характерны для районов разработки нефтяных месторождений [4, 14]. Вероятно, что содержания в лишайниках Zn и Cr обусловлены непосредственно антропогенной деятельностью на территории месторождений: сжиганием попутного нефтяного газа на факельных установках, процессами подогрева нефти в печах, работой дизельных электростанций, транспорта и тяжёлой автотехники.

На рис. 3 представлены кривые содержания химических элементов в лишайниках, отобранных как вблизи потенциальных источников загрязнения (контрольные пункты), так и на максимальном удалении от таковых (условно фоновые пунк-

ты месторождений, расположенные от 2 до 10 км от источников выбросов, в зависимости от площади месторождения и концентрации источников на нём). Условно фоновые пункты были выделены из общего числа пунктов пробоотбора ввиду отсутствия достаточных данных о среднем содержании химических элементов в лишайниках Западной Сибири. Наблюдается крайне незначительное превышение содержаний химических элементов (в 1,2–2 раза) в контрольных пунктах в сравнении с «условным фоном». Это может говорить как о незначительном влиянии источников выбросов вследствие хорошего рассеивания загрязняющих веществ, так и о том, что на такие условно фоновые пункты могут оказывать влияние источники, находящиеся на соседних месторождениях, которые на рассматриваемой территории зачастую расположены весьма близко друг от друга.

В экологических исследованиях нередко в качестве индикаторов антропогенного загрязнения используются отношения некоторых химических элементов [7]. Например, величина отношения La к Yb (таблица) позволяет определить источники поступления лантаноидов в природные экосистемы. Основным «транспортёром» лантаноидов в исследуемые биологические объекты (мхи и лишайники) является ветровой перенос частиц пыли, песка и почвы. Так, для мхов значение La/Yb близко к таковому для песчаников (11,1), для лишайников же близко к значению La/Yb в глинах (16). Отношение Th к U позволяет выявить нарушения природного баланса этих элементов. Для мхов и лишайников значения Th/U не имеют отклонений, находятся на одном уровне и близки к таковым в растениях [7] и торфах верховых болот [4].

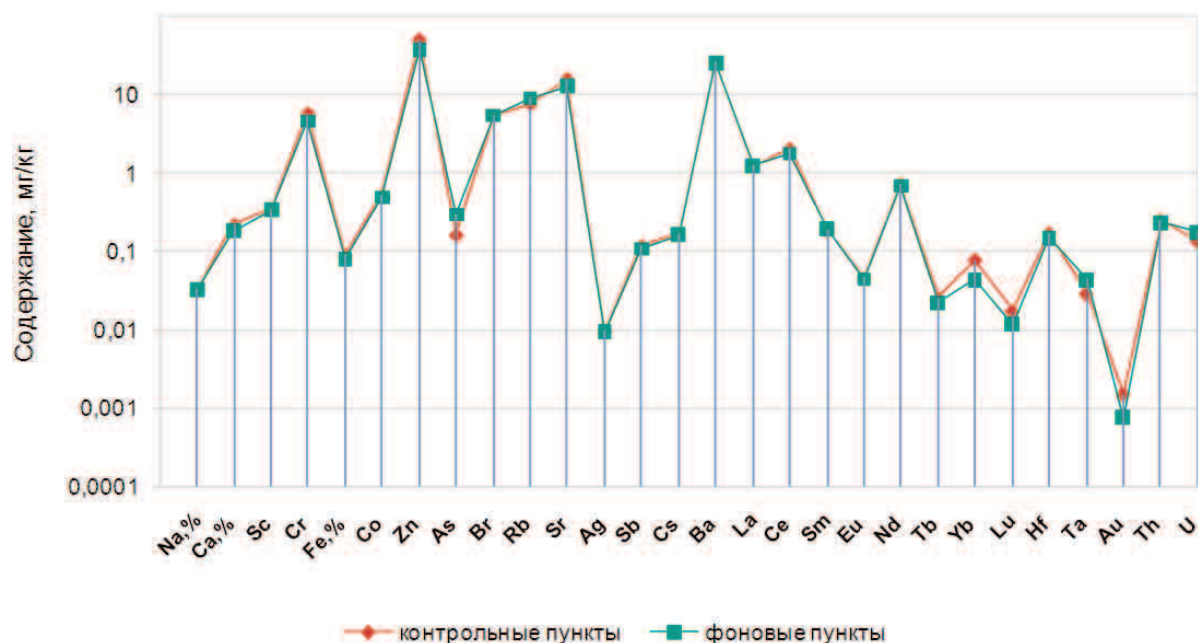


Рис. 3. Содержание химических элементов в исследованных пробах эпифитных лишайников (сухое вещество, мг/кг)

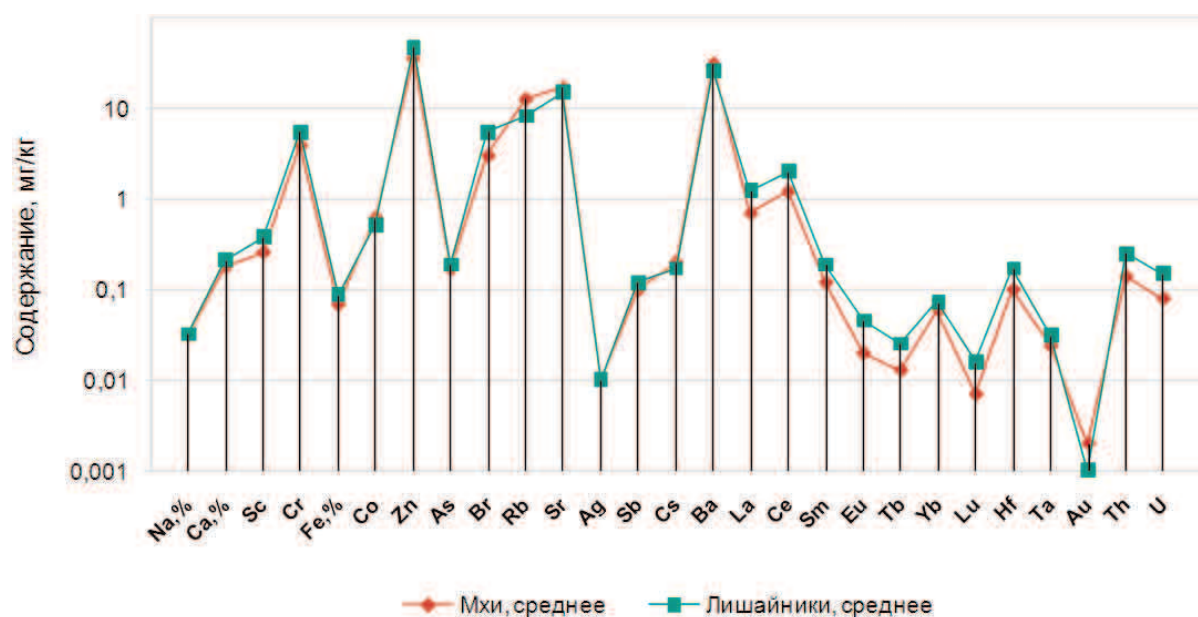


Рис. 4. Содержание химических элементов в сухом веществе мхов и лишайников, мг/кг

При сравнении установленных в результате исследования концентраций химических элементов в лишайниках и мхах выявлены превышения содержаний (K_c , таблица) в лишайниках по сравнению с мхами таких элементов, как Sc – в 1,9; Br – в 1,8; Ce – в 1,6; Sm – в 1,6; Eu – в 2,3; Tb – в 1,9; La – в 1,8; Yb – в 1,2; Lu – в 2,3; Th – в 1,8; U – в 1,9 раз (рис. 4). Уровни накопления Na, Ca, Cr, Fe, Co, Zn, As, Sr, Sb, Hf, Ta в лишайниках и мхах находятся приблизительно в одном диапазоне. Концентрации Rb, Ag, Cs, Ba, Au выше во мхах, чем в лишайниках, в 1,5–5 раз.

Заключение

В результате проведенных исследований определены уровни концентраций химических элементов в сфагновых мхах и лишайниках-эпифитах района НГДК Томской области. Так как химический состав мхов и лишайников формируется преимущественно за счет атмосферного питания, они могут служить индикаторами состояния окружающей среды.

В изученном районе отмечены повышенные, в сравнении со средними данными для Западной Сибири, содержания железа в сфагновых мхах. Кро-

ме того, в некоторых пробах мхов отмечены более высокие содержания Na, Ca, Sc, Cr, Fe, Zn, Ba, лантаноидов, Hf и Th, которые незначительно превышают среднее для Западной Сибири, но, тем не менее, могут являться характерными для района НГДК Томской области. По сравнению со сфагновыми мхами Германии изученные пробы мхов характеризуются более высокими содержаниями лантаноидов.

Для лишайников данные по средним содержаниям химических элементов на территории Западной Сибири немногочисленны и ограничиваются несколькими металлами. Для изученных лишайников характерны более высокие содержания Cr, Fe, Co и Zn. В сравнении с Северными районами Евразии и Канады отмечены более высокие концентрации Sc, Cr, Fe, Zn, Sb, U. При сравнении уровней накопления химических элементов лишайниками и мхами установлено, что для лишайников характерны повышенные уровни накопления Sc, Br, Ce, Sb, Eu, Tb, La, Lu, Th, U, для мхов – Rb, Ag, Cs, Ba, Au. Содержание Na, Ca, Cr, Fe, Co,

Zn, As, Sr, Sb, Yb, Hf, Ta в исследуемых биомониторах находится приблизительно на одном уровне.

Наблюдается крайне незначительная разница в содержаниях химических элементов в лишайниках и сфагновых мхах (в 1,2–2 раза) в контрольных пунктах в районе НГДК в сравнении со средними значениями для Западной Сибири для мхов и с «условным фоном» для лишайников. Это может говорить о незначительном влиянии источников выбросов на месторождениях вследствие хорошего рассеивания загрязняющих веществ.

Исследовательская работа была поддержана грантом РФФИ № 1220-0-553-3-1522. Авторы выражают огромную благодарность сотрудникам департамента Экологии ОАО «ТомскНИПИнефть» А. Искрижицкому, В. Кондыкову, Ю. Носкову, А. Чемерису, Д. Гвоздыреву за помощь в отборе проб растительного материала. Авторы также искренне благодарны сотрудникам Томского государственного университета В. Коневой и А. Борисенко за определение ботанического состава проб мхов и лишайников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ашихмина Т.Я., Тимонюк В.М. Мох *Pleurozium Schreberi* как биоиндикатор загрязнения атмосферы // *Естествознание и гуманизм: Сб. научных трудов / под ред. проф., д.м.н. Н.Н. Ильинских.* – 2008. – Т. 5. – Вып. 1. – С. 112–113.
2. Баргальи Р. Биогеохимия наземных растений / пер. с англ. И.Н. Михайловой. – М.: ГЕОС, 2005. – 457 с.
3. Dragovi S., Mihailovi N. Analysis of mosses and topsoils for detecting sources of heavy metal pollution: multivariate and enrichment factor analysis // *Environmental Monitoring and Assessment.* – 2009. – V. 157. – P. 383–390.
4. Межибор А.М. Экогеохимия элементов-примесей в верховых торфах Томской области: дисс. ... канд. геол.-минерал. наук. – Томск, 2009. – 153 с.
5. 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.
6. Московченко Д.В. Биогеохимические особенности верховых болот Западной Сибири // *География и природные ресурсы. Научный журнал.* – 2006. – № 1. – С. 63–67.
7. Барановская Н.В. Закономерности накопления и распределения химических элементов в организмах природных и природно-антропогенных экосистем: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Томск, 2011. – 46 с.
8. Бабешина Л.Г. Сфагновые мхи Западно-Сибирской равнины: морфология, анатомия, экология и применение в медицине: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Томск, 2011. – 38 с.
9. Московченко Д.В., Валеева Э.И. Содержание тяжёлых металлов в лишайниках на Севере Западной Сибири // *ВЭЛЛ (Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения).* – 2011. – № 11. – С. 162–172.
10. Содержание тяжёлых металлов в сфагновых мхах Вологодской области / В.П. Шевченко, Д.А. Филиппов, В.В. Гордеев, Л.Л. Демина // *Современные проблемы науки и образования.* – 2011. – № 14. – С. 1–8.
11. Reimann C., de Caritat P. Chemical elements in the environment. Factsheets for the geochemists and environmental scientists. – Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 1998. – 398 p.
12. Mezhibor A.M., Podkozlin I. Comparative characteristic of the sphagnum moss and peat of upland bogs in Siberia, Russia and central part of Germany // *Abstracts of the European Geosciences Union General Assembly 2013.* – Vienna, Austria, 07–12 April 2013. URL: <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2013/posters/11590> (дата обращения: 03.11.2013).
13. Origin and fluxes of atmospheric REE entering an ombrotrophic peat bog in Black Forest (SW Germany): Evidence from snow, lichens and mosses / D. Aubert, G. Le Roux, M. Krachler, A. Cheburkin // *Geochimica et Cosmochimica Acta.* – 2006. – № 70. – P. 2815–2826.
14. Межибор А.М. Загрязнение атмосферного воздуха в нефтедобывающих районах Томской области по результатам исследований верховых торфяников // *Ашировские чтения: Сб. трудов Междунар. научно-практ. конф. – Туапсе, 6–9 октября 2010.* – Т. 1. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – С. 238–239.
15. Lichen and moss bags as monitoring devices in urban areas. P. I: Influence of exposure on sample vitality / M. Tretiach, P. Adamo, R. Bargagli, L. Baruffo, L. Carletti, P. Crisafulli, S. Giordano, P. Modenesi, S. Orlando, E. Pittao // *Environmental Pollution.* – 2007. – № 146. – P. 380–391.

Поступила 06.11.2013 г.

BIOGEOCHEMISTRY OF SPHAGNUM MOSS AND EPIPHYTIC LICHENS IN OIL AND GAS EXPLORATION AREAS OF TOMSK REGION

Antonina M. Mezhibor,

Cand. Sc., Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin avenue,
Tomsk, 634050, Russia. E-mail: amezhibor@gmail.com

Tatyana S. Bolshunova,

TomskNIPIneft, 72, Mira Avenue, Tomsk, 634027, Russia.
E-mail: BolshunovaTS@gmail.ru

Taking into account the lack of information about the atmospheric pollution by various chemical elements in territories of oil and gas exploration, including Tomsk region, the authors have implemented the method of atmosphere monitoring using sphagnum moss and epiphytic lichens. The aim of the research is to estimate the environment state in oil exploration territories of Tomsk region using biomonitors (epiphytic lichens and sphagnum moss). The plant ash was analyzed by INAA method for the quantitative determination of 28 chemical elements. As a result of the study, lichens concentrate more Sc, Br, Ce, Sn, Eu, Tb, La, Lu, Th, U than moss, and moss concentrates more Rb, Ag, Cs, Ba, Au than lichens. Contents of Na, Ca, Cr, Fe, Co, Zn, As, Sr, Sb, Yb, Hf, Ta in the studied samples are approximately at the same level. In comparison with the mean values for West Siberia and other regions of the world, the studied territory has higher concentrations of Cr, Fe, Zn, Sb, Sc, Sr, Yb, Hf, U. This can be caused both by the influence of local sources of atmospheric pollution at oil deposits, and geochemical, geographical, and climatic peculiarities of the studied territory.

Kew words:

Regions of oil and gas exploration of Tomsk region, biomonitors, Sphagnum moss, epiphytic lichens, concentrations of chemical elements.

REFERENCES

1. Ashikhmina T.Ya., Timonyuk V.M. Mokh Pleurozium Sreberi kak bioindikator zagryazneniya atmosfery [Moss Pleurozium Sreberi as a bioindicator of atmosphere pollution]. *Sbornik nauchnykh trudov «Estestvoznaniye i gumanizm»* [Collected papers. Natural sciences and humanity]. Ed. N.N. Ilinskiykh. 2008, vol. 5, Iss. 1, pp. 112–113.
2. Bargagli R. *Biogekhimiya nazemnykh rasteniy* [Biogeochemistry of terrestrial plants]. Moscow, GEOS Publ., 2005. 457 p.
3. Dragovii S., Mihailovii N. Analysis of mosses and topsoils for detecting sources of heavy metal pollution: multivariate and enrichment factor analysis. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2009, vol. 157, pp. 383–390.
4. Mezhibor A.M. *Ekogekhimiya elementov-primesey v verkhovykh torfakh Tomskoy oblasti*. Kand. Diss. [Ecogeochemistry of trace elements in upland peat of Tomsk region. Cand. Diss.]. Tomsk, 2009. 153 p.
5. Strakhovenko V.D., Shcherbov B.L., Khozhina E.I. Raspredele-nie radionuklidov i mikroelementov v lishaynikovom pokrove razlichnykh regionov Zapadnoy Sibiri [Distribution of radionuclides and trace elements in lichens of different regions of Western Siberia]. *Geologiya i geofizika – Russian Geology and geophysics*, 2005, vol. 46, no. 2, pp. 206–216.
6. Moskovchenko D.V. Biogekhimicheskie osobennosti verkhovykh bolot Zapadnoy Sibiri [Biogeochemical peculiarities of upland bogs of Western Siberia]. *Geografiya i prirodnye resursy – Geography and natural resources*, 2006, no. 1, pp. 63–67.
7. Baranovskaya N.V. *Zakonomernosti nakopleniya i raspredeleniya khimicheskikh elementov v organizmakh prirodnkh i prirodno-antropogennykh ekosistem*. Avtoreferat Dokt. Diss. [Regularities of chemical elements accumulation and distribution in organisms of natural and nature-anthropogenic ecosystems. Dr. Diss. Abstract]. Tomsk, 2011. 46 p.
8. Babeshina L.G. *Sfagnovye mkhi Zapadno-Sibirskoy ravniny: morfologiya, anatomiya, ekologiya i primeneniye v meditsine*. Avtoreferat Kand. Diss. [Sphagnum moss of Western Siberian plane: morphology, anatomy, ecology and application in medicine. Cand. Diss. Abstract]. Tomsk, 2011. 38 p.
9. Moskovchenko D.V., Valeeva E.I. Soderzhanie tyazhelykh metallov v lishaynikakh na Severe Zapadnoy Sibiri [Contents of heavy metals in lichens in the north of Western Siberia]. *Vestnik ekologii, lesovedeniya i landshaftovedeniya*, 2011, no. 11, pp. 162–172.
10. Shevchenko V.P., Filippov D.A., Gordeev V.V., Demina L.L. Soderzhanie tyazhelykh metallov v sfagnovykh mkhakh Vologodskoy oblasti [Contents of heavy metals in sphagnum moss of Vologodsk region]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2011, no. 14, pp. 1–8.
11. Reimann C., de Caritat P. *Chemical elements in the environment. Factsheets for the geochemists and environmental scientists*. Berlin-Heidelberg, Springer-Verlag, 1998. 398 p.
12. Mezhibor A.M., Rodkozlin I. *Comparative characteristic of the sphagnum moss and peat of upland bogs in Siberia, Russia and central part of Germany*. Abstracts of the European Geosciences Union General Assembly 2013. Vienna, Austria, 2013. Available at: <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2013/posters/11590> (accessed 03 November 2013).
13. Aubert D., Le Roux G., Krachler M., Cheburkin A. Origin and fluxes of atmospheric REE entering an ombrotrophic peat bog in Black Forest (SW Germany): Evidence from snow, lichens and mosses. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2006, no. 70, pp. 2815–2826.
14. Mezhibor A.M. Zagryaznenie atmosfernogo vozdukh v nefte-dobyvayushchikh rayonakh Tomskoy oblasti po rezul'tatam issledovaniy verkhovykh torfyanikov [Atmospheric air pollution in oil exploration areas of Tomsk region by the results of upland peatlands research]. *Ashirovskie chteniya: Sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Ashirov reading: Proc. of the Intern. scientific-practical conference]. Samara, 2010. B. 1, pp. 238–239.
15. Tretiach M., Adamo P., Bargagli R., Baruffo L., Carletti L., Crisafulli P., Giordano S., Modenesi P., Orlando S., Pittao E. Lichen and moss bags as monitoring devices in urban areas. P. I: Influence of exposure on sample vitality. *Environmental Pollution*, 2007, no. 146, pp. 380–391.