

УДК 550.73:582.34:543.422.8

Г.В. Матяшенко
Е.В. Чупарина
А.Л. Финкельштейн

G.V. Matyashenko
E.V. Chuparina
A.L. Finkelshtein

**МХИ *HYLOCOMIUM SPLENDENS* (HEDW.) B.S.G. И *PLEUROZIUM SCHREBERI* (BRID.) MITT.
КАК ИНДИКАТОРЫ АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОБЕРЕЖЬЯ ЮЖНОГО БАЙКАЛА**

**MOSSES *HYLOCOMIUM SPLENDENS* (HEDW.) B.S.G. AND *PLEUROZIUM SCHREBERI* (BRID.) MITT.
AS INDICATORS OF AIR POLLUTION OF THE SOUTH BAIKAL COAST**

В статье рассмотрена возможность использования мхов *Hylocomium splendens* и *Pleurozium schreberi* в качестве фитоиндикаторов атмосферного загрязнения побережья Южного Байкала. Определение элементного состава растений выполнено методом рентгенофлуоресцентного анализа.

Экологические исследования окружающей среды выполняют, используя характеристики состояния ее отдельных компонентов: почв, снежного покрова, атмосферного воздуха, растительных объектов. Иногда в качестве биоиндикаторов загрязнения наземных экосистем используют мхи [Heavy metals in European mosses]. Вследствие физиологических особенностей они способны поглощать минеральные вещества, как из воздушной среды, так и из гумусового слоя почвы. Их применяют для оценивания атмосферного загрязнения, а также для тестирования почвенного покрова.

Территории, прилегающие к озеру Байкал, испытывают воздействия от расположенных вблизи промышленных предприятий (Байкальский и Селенгинский целлюлозно-бумажные комбинаты, Гусиноозерская ГРЭС), Байкало-Амурской железнодорожной магистрали, автомобильных дорог. Неблагоприятное воздействие происходит от хозяйственной деятельности крупных населенных пунктов (города Иркутск, Байкальск и др.) и от многочисленных туристско-рекреационных сооружений. В окружающую среду среди прочих загрязнителей попадают соединения серы и хлора, тяжелые металлы.

Загрязнение территорий европейских стран и западной части России исследовались с помощью мхов-биомониторов (Панкратова, 2009; Ermakova, 2004; Korzecwa 2007; Reimann 2001). Изучалась экологическая ситуация вблизи промышленных предприятий. Для этого в течение нескольких лет проводили отбор и химический анализ мхов, по результатам которого отслеживали распределения выпадений тяжелых металлов на разных расстояниях от источников загрязнения при атмосферном переносе.

В Прибайкалье широко распространены мхи *Pleurozium schreberi* и *Hylocomium splendens*, которые и послужили объектами исследования в данной работе. Целью работы являлось определение элементного состава двух видов мхов *Pleurozium schreberi* и *Hylocomium splendens*, собранных в разных районах Южного Байкала, для оценивания возможности их использования в качестве биомониторов.

Мхи отбирали на северо-западном макросклоне хребта Хамар-Дабан, побережье Южного Байкала, на заложенных ранее (1972 г.) постоянных пробных площадях 50×50 м, удаленных от БЦБК на 0,5, 1, 3, 10, 20 и 40 км. Сбор проведен в начале июля 2011 года. Мхи также были отобраны на острове Ольхон (озеро Байкал), который относится к экологически чистым территориям. В каждой точке (БЦБК, пос. Солзан, ключ Голанский, о. Ольхон) составлялись комбинированные образцы, взятые с 5–10 куртин. После высушивания при 40°C до постоянного веса образцы очищались от мусора и мертвого материала, оставались только зеленые сегменты последних трех лет. Кроме того, были собраны лист березы (*Betula pendula* Roth.), лист брусники (*Vaccinium vitis-idaea* L.) и лист черники (*Vaccinium myrtillus* L.). Листья отбирались одновременно с мхами на тех же пробных площадях. Результаты анализа этих растений использовались для сравнительной характеристики способности различных видов накапливать токсичные элементы (Белоголова, 2006, 2010, 2000). Подготовленный таким образом материал поступал на анализ.

Определение элементного состава мхов выполняли методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) (Чупарина, 2011). Одним из достоинств РФА является неdestructивная пробоподготовка: при приготовлении образцов к анализу не применяются химические реактивы и высокая температура, поэтому в его результатах отсутствуют погрешности, связанные с загрязнением или потерей вещества при вскрытии. Необходимой стадией пробоподготовки при РФА является измельчение материала до тонкого порошка.

РФА – это многоэлементный метод: одновременно из одной навески определяют как эссенциальные для растений элементы (Mg, P, K, S и другие), так и потенциально токсичные (Cl, Cr, Mn, Cu, Pb). Метод обладает хорошей воспроизводимостью измерений.

Образцы отобранных растений измельчали в электрической кофемолке. Результатом такого помола являлись миллиметровые, а иногда и сантиметровые части растения. Доизмельчение проводили в ручной кофемолке. При этом достигался необходимый размер частиц. Далее из пробы брали навеску 1 г, материал высыпали в металлический цилиндр, выравнивали, сверху добавляли дозированное количество борной кислоты и прессовали излучатель в виде таблетки при усилии 16 тонн.

Интенсивности аналитических линий элементов Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Br, Rb, Sr, Zr, Ba и Pb измеряли на волновом рентгеновском спектрометре S4 Pioneer (Bruker, AXS). Спектрометр оснащен рентгеновской трубкой с Rh-анодом. Измерения элементов от Na до K выполняли в режиме: 30 кВ, 40 мА; элементов от Ca до Cr – 40 кВ, 50 мА, элементов от Mn до Pb – при 50 кВ и 40 мА. Относительные стандартные отклонения, характеризующие воспроизводимость измерений, не превышали 5 % для большинства определяемых элементов. Градуировочные графики при расчете содержания элементов строили с помощью стандартных образцов состава растений: ГСО 3169-85, 3170-85, 3171-85 клубней картофеля СБМК-02, злаковой травосмеси СБМТ-02, зерен пшеницы СБМП-02 и китайских СО состава веток и листьев тополя (GBW 07603, GBW 07604) и листьев чая (GBW 07605). Результаты оценивали сопоставлением данных РФА с аттестованными значениями в польском стандартном материале состава травосмеси INCT-MPH-2 и китайском СО состава листьев и веток кустарника (GBW 07602). Пределы обнаружения, рассчитанные по 3-σ критерию, составили, мкг/г: Na (30); Mg (10); Al, Mn и Fe (5); Cl, Ti и Ba (4); Si, Zr и Pb (3); P, S, K, Ca и Sr (2); Cr (2,6); Ni, Cu, Zn, Br и Rb (1).

Содержания 20 элементов в двух видах мхов, собранных на территориях с разной техногенной нагрузкой, приведены в таблице 1.

В таблице даны максимальные и минимальные содержания элементов во мхах в виде диапазона (в скобках) и средние значения, рассчитанные по всем исследуемым пробам (выделены жирным шрифтом). В качестве фонового содержания предложено использовать среднее арифметическое значение, рассчитанное для 2–4 проб с минимальной концентрацией. При расчете фона усредняли данные для мхов, отобранных на Ольхоне или на ключе Голанском. Максимальные концентрации превосходят фоновые значения в 1,5–6 раз. В последней колонке таблицы 1 представлен диапазон содержания элементов, которые были установлены авторами работ (Панкратова, 2009; Ermakova, 2004; Korzescwa, 2007; Reimann, 2001) для раз-

Таблица 1

Сравнение результатов РФА мхов Прибайкалья с литературными данными

Элемент	Прибайкалье		Литературные данные
	среднее содержание (диапазон содержания)	фоновое значение	
Na, %	0,023 (0,011-0,037)	0,013	0,0062-0,3315
Mg, %	0,121 (0,082-0,196)	0,084	0,0307-0,336
Al, %	0,205 (0,075-0,346)	0,078	0,04-3,12
Si, %	0,372 (0,175-0,620)	0,180	0,0101-0,0627 ^b
P, %	0,125 (0,079-0,195)	0,088	0,070-0,283 ^b
S, %	0,087 (0,062-0,125)	0,075	0,061-0,202 ^b
Cl, %	0,0096 (0,0010-0,0345)	0,0055	0,0045-0,38
K, %	0,52 (0,36-0,80)	0,412	0,3011-2,016
Ca, %	0,54 (0,23-1,59)	0,309	0,115-1,38
Fe, %	0,220 (0,080-0,345)	0,085	0,0068-2,073
Ti, мкг/г	122 (50,5-221)	58	12,4-500
Cr, мкг/г	7,5 (4-13)	5	0,1-194,3
Mn, мкг/г	280 (170-420)	197	22-2200
Ni, мкг/г	7 (3-14)	4	0,1-93,9
Cu, мкг/г	8 (3-10,5)	3,5	3-200
Zn, мкг/г	49 (31-66)	34	7,9-877
Rb, мкг/г	16 (4-26)	4	1,3-106
Sr, мкг/г	22 (11-28,5)	12	0,5-339
Ba, мкг/г	41 (17-62)	21	4-250
Pb, мкг/г	5 (3-7)	3	2,1-12,2

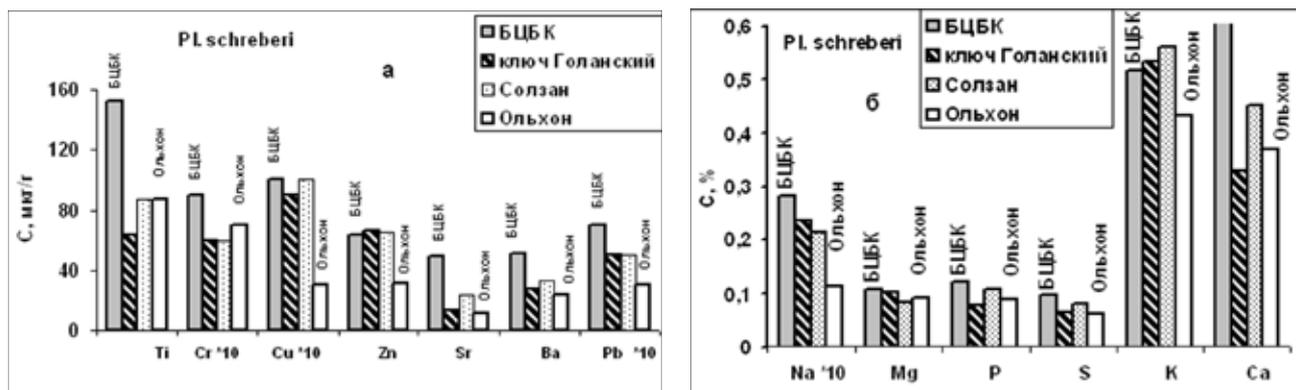


Рис. 1. Распределение токсичных (а) и эссенциальных (б) элементов в образце *Pleurozium schreberi* в зависимости от места отбора.

ных видов мхов, собранных на европейских территориях с разной антропогенной нагрузкой. Как видно, диапазоны содержания большинства элементов, взятые из публикаций, шире, как со стороны минимальных, так и со стороны максимальных концентраций, по сравнению с данными наших исследований. Этот факт объясняется тем, что литературные данные по разным видам мхов с разных природных территорий отличаются степенью техногенного влияния. Сравнивая максимальные концентрации, мы можем предположить, что мхи Прибайкалья меньше подвержены антропогенному воздействию, по сравнению с образцами европейских территорий.

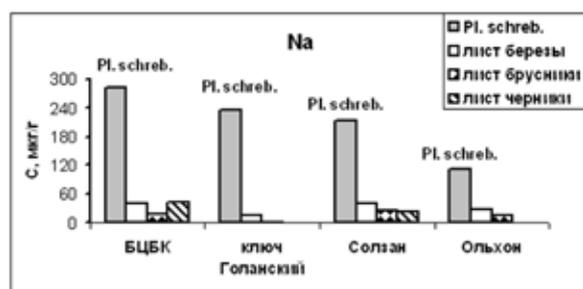


Рис. 2. Распределение натрия в разных видах растений.

во мхах предпочтительнее при оценке состояния территорий.

В качестве примера на рисунке 2 приведено содержание натрия в разных видах растений. Как видно, мхи накапливают натрий в большей степени, чем остальные исследуемые растения. Данная тенденция характерна и для элементов Al, Si, Ti, Cr, Fe, Ni, Cu, Pb, которые являются потенциально токсичными для растений.

На рисунке 3 приведены содержания Na, Ti, P и S во мхах двух видов. Наблюдаются незначительные межвидовые отличия в накоплении элементов. Однако эти отличия значительно меньше по сравнению с березой, брусникой черникой. Поэтому оба вида мхов могут быть использованы как биоиндикаторы состояния окружающей среды.

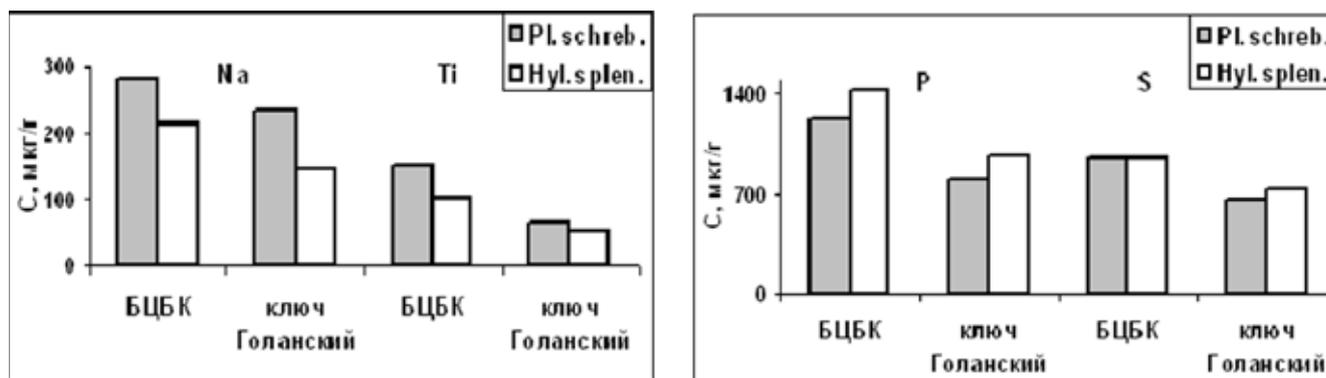


Рис. 3. Распределение элементов в двух видах мхов.

Таким образом, рентгенофлуоресцентный метод анализа обеспечивает получение необходимых для проведения мониторинга данных об элементном составе мхов. Анализ этих данных показал, что в сравнении с сопутствующими растениями (береза, брусника, черника) мхи являются наиболее информативными видами растений, свидетельствующими о состоянии окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

- Белоголова Г.А., Коваль П.В., Матяшенко Г.В., Гуничева Т.Н., Чупарина Е.В.** Распределение макроэлементов в растениях Южного Прибайкалья // Сибирский экологический журнал, 2006. – № 3. – С. 359–369.
- Белоголова Г.А., Матяшенко Г.В.** Береза как индикатор эколого-геохимических условий в Южном Прибайкалье // Геогр. и природн. ресурсы, 2010. – № 1. – С. 63–70.
- Белоголова Г.А., Матяшенко Г.В., Зарипов Р.Х.** Биогеохимическая характеристика природных и техногенных экосистем Южного Прибайкалья // Экология, 2000. – № 4. – С. 263–269.
- Панкратова Ю.С., Зельниченко Н.И., Фронтасьева М.В., Павлов С.С.** Атмосферные загрязнения на территории Удмуртской республики – оценки на основе анализа мхов-биомониторов // Проблемы региональной экологии, 2009. – № 1. – С. 57–63.
- Чупарина Е.В., Мартынов А.М.** Применение неструктивного РФА для определения элементного состава лекарственных растений // ЖАХ, 2011. – Т. 66, № 4. – С. 399–405.
- Ermaikova E.V., Frontasyeva M.V., Pavlov S.S., Povtoreiko E.A., Stainnes E., Cheremisina Ye.N.** Air pollution studies in central Russia (Tver and Yaroslavl regions) using the moss biomonitoring technique and neutron activation analysis // Journal of Atmospheric Chemistry, 2004. – Vol. 49. – P. 549–561.
- Heavy metals in European mosses: 2010 survey: International cooperative programme on effects of air pollution on natural vegetation and crops [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://icpvegetation.ceh.ac.uk/>
- Korzecwa S., Pankratova Yu.S., Frontasyeva M.V.** Air pollution studies in Opole region, Poland, using the moss biomonitoring technique and Neutron Activation analysis // Ecological chemistry and Engineering, 2007. – Vol. 1, Is. 1–2. – P. 43–57.
- Reimann C., Niskavaara H., Kashulina G., Filzmoser P., Boyd R., Volden T., Tomilina O., Bogatyrev I.** Critical remarks on the use of terrestrial moss (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) for monitoring of airborne pollution // Environmental Pollution, 2001. – Vol. 113. – P. 41–57.

SUMMARY

In this article we discussed the opportunity of using mosses *Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi* as indicators in estimation of air pollution on the South Baikal coast. Element composition was determined by x-ray fluorescence spectrometry.