

Оценка использования рентгенофлуоресцентного анализа массовых видов листостебельных мхов для биогеохимического мониторинга урбанизированной территории юга Иркутской области

Assessment of the use of X-ray fluorescence analysis of common species of leafy mosses for biogeochemical monitoring of the urbanized territory of the south of the Irkutsk region

Преловская Е. С.¹, Бондаревич Е. А.²

Prelovskaya E. S.¹, Bondarevich E. A.²

¹ Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, г. Иркутск, Россия. E-mail: arven66@bk.ru

¹ Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

² ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия», г. Чита, Россия. E-mail: bondarevich84@mail.ru

² Chita State Medical Academy, Chita, Russia

Реферат. Дается предварительная оценка возможного использования рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) массовых видов мхов (*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., *Hylocomium splendens* (Hedw.) B. S. G., *Climacium dendroides* (Hedw.) F. Weber et D. Mohr, *Sanionia uncinata* (Hedw.) Loeske), для последующего биохимического и экологического мониторинга. Приводятся конкретные данные для различных промышленных территорий Иркутской области. А также сравнения с контрольным и территориями, где отсутствуют промышленные объекты. Относительно высокое содержание токсичных химических элементов (Ti, Cr, Cu, Zn, Sr и Pb) было зарегистрировано в окрестностях поселка Листвянка Иркутского района. Здесь главными источниками поступления загрязняющих примесей в атмосферу является сжигание ископаемого топлива – каменного угля на крупных ТЭЦ, а также природные лесные пожары. Для отведения загрязняющих примесей от городов используются высокие дымовые трубы – до 200 м и более. Это помогает снизить влияние выбросов на города, но может оказывать определенное влияние на природу удаленных фоновых районов – в десятках и сотнях километрах от источников. Рентгенофлуоресцентный метод анализа позволяет обеспечивать получение необходимых данных об элементном составе мхов для проведения экомониторинга. Анализ результатов не выявил значимого превышения содержания микроэлементов между техногенными и экологически чистыми (фоновыми) районами исследований.

Ключевые слова. Биогеохимический мониторинг, Иркутская область, листостебельные мхи, массовые виды, рентгенофлуоресцентный анализ.

Summary. We give a preliminary assessment for the possible use of X-ray fluorescence analysis (XRF) of common moss species (*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., *Hylocomium splendens* (Hedw.) B. S. G., *Climacium dendroides* (Hedw.) F. Weber et D. Mohr, *Sanionia uncinata* (Hedw.) Loeske), for subsequent biochemical and environmental monitoring. Specific data are provided for various industrial territories of the Irkutsk region. As well as comparisons with the control and territories where there are no industrial facilities. Relatively high levels of toxic chemical elements (Ti, Cr, Cu, Zn, Sr and Pb) were recorded near the village Listvyanka, Irkutsk region. Here, the main sources of pollutants entering the atmosphere are the combustion of fossil fuels – coal at large thermal power plants, as well as natural forest fires. To remove pollutants from cities, high chimneys are used – up to 200 m or more. This helps reduce the impact of emissions on cities, but may have a certain impact on the nature of remote background areas – tens and hundreds of kilometers from the sources. The X-ray fluorescence method of analysis makes it possible to obtain the necessary data on the elemental composition of mosses for environmental monitoring. Analysis of the results did not reveal a significant excess in the content of microelements between technogenic and environmentally friendly study areas.

Key words. Biogeochemical monitoring, Irkutsk region, leafy mosses, common species, X-ray fluorescence analysis.

Экологические исследования окружающей среды проводят, основываясь на характеристиках состояния ее компонентов: почв, воздуха, снежного покрова, водной среды, растительных объектов.

Территории, прилегающие к озеру Байкал, испытывают воздействия от расположенных вблизи промышленных предприятий (Селенгинский целлюлозно-бумажный комбинат, Гусиноозерская ГРЭС), Транссибирской и Байкало-Амурской железнодорожных магистралей, автомобильных дорог. Неблагоприятное воздействие происходит от хозяйственной деятельности крупных населенных пунктов (города Иркутск, Байкальск, Ангарск, Шелехов и др.) и от многочисленных туристско-рекреационных объектов. В окружающую среду среди прочих загрязнителей попадают соединения серы и хлора, тяжелые металлы (Матяшенко и др., 2012).

Вследствие физиологических особенностей отличным индикатором состояния загрязнения окружающей среды могут являться мхи. Поскольку эти организмы не имеют корневой системы, их питание является атмосферным и, соответственно, их элементный состав в обобщенном виде отражает состав химических элементов в атмосфере, находящихся в газообразном или растворенном состоянии, а также в виде твердых частиц. Они способны эффективно концентрировать тяжелые металлы и другие микроэлементы, содержащиеся в воздухе, осадках и из гумусового слоя почвы в течение довольно продолжительного времени. При этом некоторые особо распространенные виды мхов произрастают в разных климатических зонах и в условиях техногенеза (*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., *Hylocomium splendens* (Hedw.) B. S. G., *Climacium dendroides* (Hedw.) F. Weber et D. Mohr, *Sanionia uncinata* (Hedw.) Loeske), что позволяет использовать их как индикаторные виды при экологическом мониторинге окружающей среды. Подобные работы ранее проводились в Прибайкалье (Белоголова, Матяшенко, 2000; Белоголова и др., 2006; Матяшенко и др., 2012), однако уже десятилетие отсутствуют такого рода исследования.

Нами проанализировано около 80 образцов различных видов листостебельных мхов (в основном распространенные виды с очень обширными ареалами) на количественное содержание химических элементов методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) из некоторых населенных пунктов Иркутской области, различающихся по степени техногенной нагрузки.

Образцы мхов были собраны вблизи промышленных зон городов: Ангарск (окр. Ангарского электролизного химического комбината, далее АЭНХК), п. Новоодинск (Ангарский район), Шелехов (окр. Иркутского алюминиевого завода, далее ИркАЗ, Шелеховский район), Иркутск, п. Листвянка (Иркутский район). Для сравнения количества содержания микро- и макроэлементов в образцах была выбрана фоновая (контрольная) территория, где полностью отсутствуют крупные поселения, и нет каких-либо промышленных предприятий (Иркутский и Слюдянский районы).

Определение содержания химических элементов в пробах мхов проводили рентгенофлуоресцентным методом полного внешнего отражения на спектрометре S2 Picofox (Bruker Nano GmbH, Германия).

Пробы мхов взвешивали на аналитических весах и навески массой 100,0 мг и подвергали мокрому озолению. Для озоления пробы переносили в кварцевые стаканчики, приливали по 1000,0 мкл концентрированной HNO_3 и добавляли по 100,0 мкл 30 %-го раствора H_2O_2 , после чего пробы выдерживали до полного испарения жидкости в сушильном шкафу и прокаливали в муфельной печи при 500 °С.

Полученные сухие осадки растворяли в деионизированной воде и к аликвоте добавляли внутренний стандарт (соль Ge с концентрацией 2,50 мг/дм³). Наносили 10,0 мкл пробы на кварцевый прободержатель, а после высушивали. После снятия спектров содержания элементов в пробе они подвергались обработке в программе Spectra ver. 7.8.2.0 с определением среднего содержания, ошибки среднего и пределов обнаружения.

Всего методом РФА во мхах было обнаружено более 50 макро- и микроэлементов. Практически для всех образцов выявлено, что концентрация элементов во мхах фоновых территорий заметно ниже значений, полученных для мест отбора проб, испытывающих техногенную нагрузку (особенно заметна эта особенность была в пробах, собранных вблизи ИркАЗа, г. Шелехов и АЭНХК, г. Ангарск). Относительно высокое содержание химических элементов (Ti, Cr, Cu, Zn, Sr и Pb) было зарегистрировано в окрестностях поселка Листвянка Иркутского района, что на первый взгляд кажется довольно необычным, так как здесь нет промышленных предприятий (рис. 1, 2). Здесь главными источниками поступления загрязняющих примесей в атмосферу является сжигание ископаемого топлива – каменного угля на крупных ТЭЦ, а также природные лесные пожары. Для отведения загрязняющих примесей от городов используются высокие дымовые трубы – до 200 м и более. Это помогает снизить влияние выбросов на

города, но может оказывать определенное влияние на природу удаленных фоновых районов – в десятках и сотнях километрах от источников. Так как выбросы крупных ТЭЦ происходят на высотах более 200 м, на условия их дальнейшего распространения воздействуют метеословия в пограничном слое атмосферы, которые существенно зависят от времени суток и сезона года, а также процессы синоптического масштаба. По данным Т. В. Ходжера (Ходжер и др., 2020), существуют два основных механизма загрязнения атмосферы в центральной экологической зоне Байкала: первый – прямой перенос индивидуальных слабо рассеянных шлейфов отдельных региональных ТЭЦ со струйными воздушными течениями на верхней границе ночных пограничных слоев атмосферы (от 200 до 500 м над уровнем земли); второй – крупномасштабный северо-западный перенос смешанных выбросов многих региональных и удаленных источников под влиянием процессов синоптического масштаба. Основными примесями, выделяемыми при сжигании угля, являются оксиды серы, азота, углерода, твердые взвеси и другие примеси, в том числе газообразная ртуть (к сожалению, данным методом мы не можем определить количество ртути в образцах).

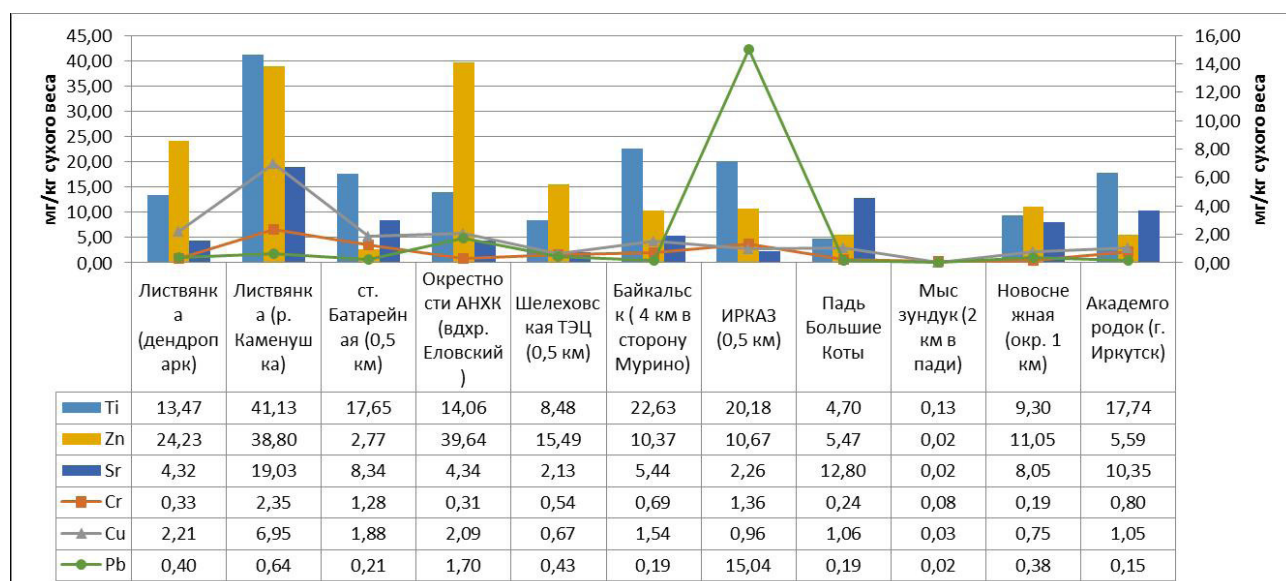


Рис. 1. Содержание токсичных элементов (в мг/кг) в образцах мхов в зависимости от места отбора.

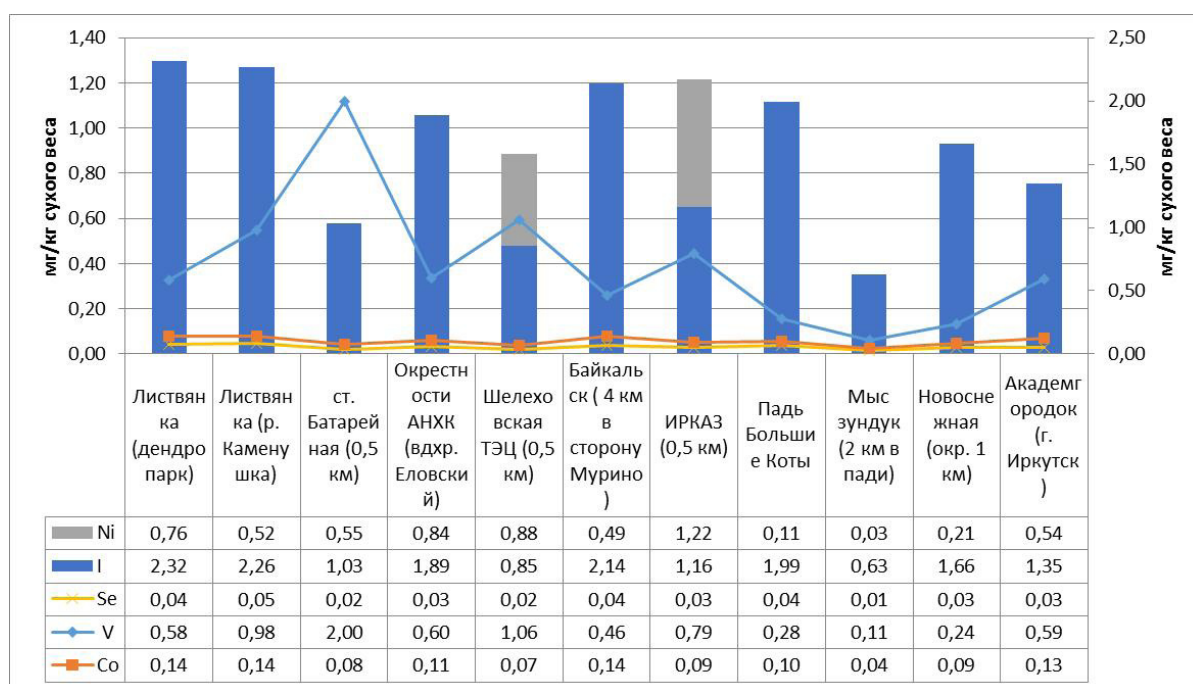


Рис. 2. Содержание эссенциальных элементов (в мг/кг) в зависимости от места сбора.

Также в образцах была исследована аккумуляция эссенциальных и условно-эссенциальных элементов (Co, Ni, Se, I, V), которые при небольшом содержании не являются токсичными, но при интенсивном накоплении могут проявлять негативное воздействие на живые организмы. Уровни накопления этой группы микроэлементов не имели значимых отличий между урбанизированными, промышленно развитыми районами и фоновыми, сельскими территориями. На рис. 3 и 4 показано, как идет накопление химических элементов у разных видов мхов, собранных с одной точки, радиус сбора около 100 м. На графиках четко прослеживается, что все элементы накапливаются примерно в одинаковом диапазоне, исключение составляют лишь Ti и Zn. Наибольшие концентрации этих элементов показал анализ видов *Pleurozium schreberi* и *Plagiomnium confertidens* (Lindb. et Arnell) T. J. Кор. Для более полного представления о распространении некоторых токсичных химических элементов имеет смысл отобрать пробы образцов на элементный анализ вблизи таких населенных пунктов как п. Никола и п. Большая Речка, которые расположены по пути в п. Листвянка, чтобы посмотреть динамику накопления в них токсичных химических элементов.

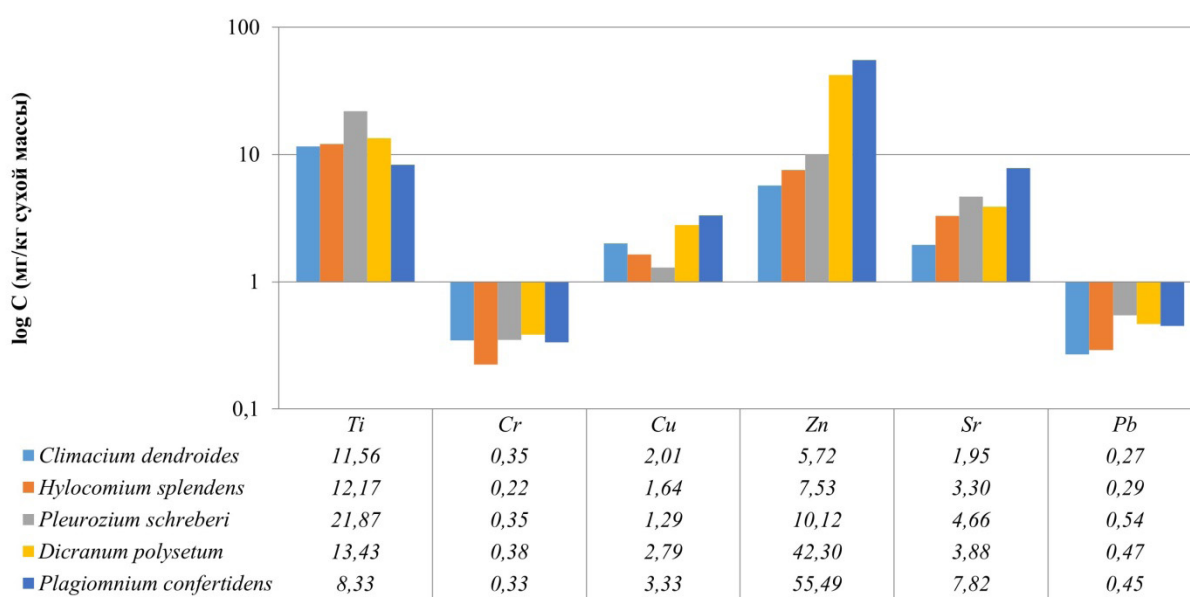


Рис. 3. Накопление токсичных элементов (в мг/кг) в образцах мхов с одной точки сбора (Листвянка, Дендропарк).



Рис. 4. Накопление эссенциальных элементов (в мг/кг) в образцах мхов с одной точки сбора (Листвянка, Дендропарк).

Таким образом, рентгено-флуоресцентный метод анализа позволяет обеспечивать получение необходимых данных об элементном составе мхов для проведения долгосрочного экологического мониторинга. Анализ результатов не выявил значительного превышения содержания микроэлементов между техногенными и экологически чистыми районами (фоновыми) исследований. Исключение составляет южная часть Байкала (окр. пос. Листвянка, в частности Байкальский музей и дендропарк рядом с ним).

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.** Биогеохимическая характеристика природных и техногенных экосистем Южного Прибайкалья // Экология, 2000. – № 1. – С. 263–269.
- Матяшенко Г. В., Чупарина Е. В., Финкельштейн А. Л.** Мхи *Hylocomium splendens* (Hedw.) B. S. G. и *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. как индикаторы атмосферного загрязнения побережья южного Байкала // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: сб. науч. ст. по материалам XI междунар. науч.-практ. конф. (Барнаул, 28–31 августа 2012 г.) – Барнаул: Изд-во Жерносенко С. С., 2012. – С. 135–138.
- Преловская Е. С., Бондаревич Е. А.** Предварительные результаты по содержанию химических элементов в бриофитах некоторых промышленных городов Иркутской области // Проблемы промышленной ботаники индустриально развитых регионов. Мат. докладов VI межд. конф. (6–7 октября 2021 г., г. Кемерово). – Кемерово, 2021. – С. 76–77.
- Ходжер Т. В., Оболкин В. А., Моложникова Е. В., Шиховцев М. Ю.** Некоторые результаты цифрового (*in situ*) мониторинга загрязнения атмосферы газовыми примесями в центральной экологической зоне Южного Байкала // Известия Иркутского государственного университета, Серия «Науки о Земле», 2020. – Т. 34. – С. 41–155.