

ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИИ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С ПОМОЩЬЮ МХОВ-ТРАНСПЛАНТАТОВ

М.А. Татаринцева

*Томский политехнический университет,
ИЯТШ, ОЯТЦ, гр. 0А03*

Научный руководитель: Н.С. Рогова, к.т.н., доцент ОЯТЦ ИЯТШ ТПУ

Угольная промышленность является одной из основных отраслей в Кемеровской области, что приводит к значительному загрязнению природы тяжелыми металлами (ТМ) и другими химическими элементами. Перенос тяжелых частиц от источника загрязнения с воздушными массами на большие расстояния оказывает деструктивное воздействие на организм человека [1].

Повышенная опасность пылеватых частиц кузбасских углей обусловлена их геохимической спецификацией – частицы в больших количествах содержат ТМ, обладающие канцерогенным действием [2–4]. Отметим, что основным способом попадания вредных веществ в организм человека является ингаляционный путь. Это объясняет высокий уровень заболеваемости населения городов Кузбасса заболеваниями дыхательной системы [5]. Поэтому контроль и оценка уровней загрязнения от различных предприятий угольной промышленности необходим.

Одними из подходящих методов исследования для длительных экспозиций является метод с использованием биоиндикаторов. Мхи обладают рядом экологических особенностей, которые делают их подходящими для использования в биомониторинге.

В силу экологических особенностей, мхи являются подходящим материалом для биомониторинга [6]. Они обладают хорошей аккумуляционной способностью по отношению ко многим элементам, имеют большую площадь покрытия и распространены во многих климатических поясах. Мхи часто растут группами и могут выживать в сильно загрязненной окружающей среде, а их жизненный цикл достигает 15 лет, что необходимо при длительной экспозиции в исследованиях.

Целью данной работы является проведение оценки загрязнения атмосферного воздуха ТМ города Берёзовский (Кемеровская область), расположенном в зоне влияния предприятий угольной промышленности, посредством биомониторинга с помощью мхов. Учеными Томского политехнического университета был разработан метод для мониторинга загрязнения атмосферного воздуха ТМ и другими токсичными элементами [7]. В качестве материала в этом методе используется мох Пилезия многоцветковая. (*Pyralisia polyantha* (Hedw.) B. S. G.). В настоящее время ведутся работы по апробации активного метода-биомониторинга.

Мхи-трансплантаты были отобраны вблизи поселка Киреевск (экологически чистый район Томской области, удаленный на 50 км от крупных населенных пунктов и оживленных автодорог). Образцы *Pyralisia polyantha* отбирали с коры тополей и осин. Отобранные мхи сразу же очищали от различных примесей (насекомых, семян, почечных чешуек и т. п.) и сушили при комнатной температуре, разложив на полиэтиленовой пленке. Далее каждый образец мха крепили к основе из сетки нитками из натурального волокна. Для сохранения жизнеспособности мха при трансплантации выбрана нейлоновая сетка, которая не оказывает на него никакого воздействия. Благодаря мелкой ячейке этой сетки создаются естественные условия для обитания мха, что способствует его выживанию. Из выбранного материала были созданы основы для планшетов размером 20×30 см. На каждую прямоугольную заготовку были вы-

ложены в один слой образцы мха (рис. 1, а). Для накопления загрязняющих веществ, подготовленные образцы мха в форме планшетов были размещены на стволах деревьев: тополей, осин, берез на высоте 1,5–2 м от земли (рис. 1, б), что соответствует росту среднестатистического человека.



Рис. 1. а) Планшет на нейлоновой сетке; б) образец на стволе дерева

Летом 2022 г. было размещено 99 образцов мха *Pylaisia polyantha* в 33 точках на территории г. Берёзовский (рис. 2) и 3 образца на фоновой территории (д. Медынино, Кемеровская область), схожей по климатическим условиям с исследуемой территорией. Выбор места для размещения проб основан на одном из преимущественных направлений ветра [8]. Сбор образцов был проведен 4–5 ноября 2022 г, время экспозиции составило 4 месяца. Образцы в т. 1 были утеряны. Для обеспечения сопоставимости и достоверности результатов, образцы были отобраны в период без осадков.

После сбора планшетов подготавливали пробы к проведению нейтронно-активационного анализа (НАА) согласно отработанной ранее методике для эпифитного мха [7]. Были изготовлены таблетки диаметром 1 см и массой 170–200 мг. Из каждого образца мха получили три параллельные пробы. Далее таблетки заворачивали в фольгу и нумеровали. Всего было изготовлено 85 проб.

Содержание 26 элементов (Ba, Br, Ca, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, La, Lu, Mo, Na, Nd, Rb, Sb, Sc, Sm, Sr, Ta, Tb, Th, U, Yb, Zn) в пробах мха было определено с помощью

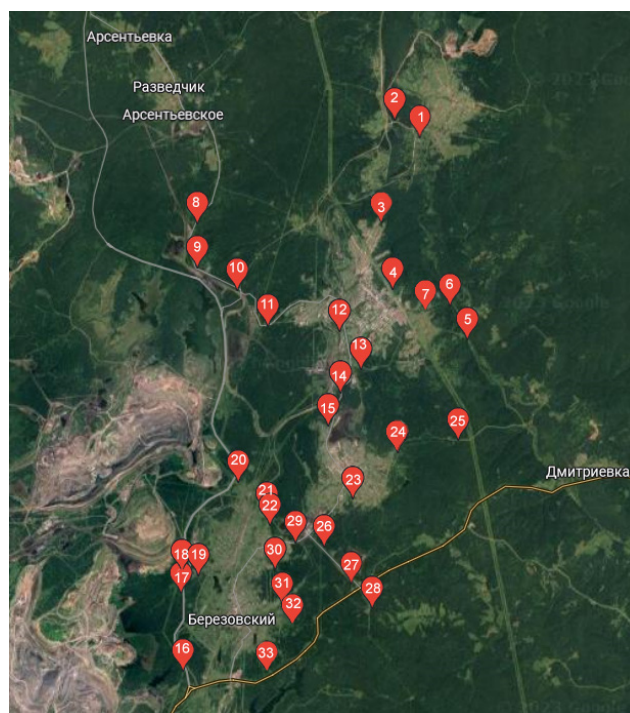


Рис. 2. Точки трансплантации мхов в г. Берёзовском

НАА. Для определения содержания элементов по долгоживущим изотопам образцы подвергались облучению потоком тепловых нейтронов на исследовательском реакторе ИРТ-Т ТПУ, г. Томск РФ. Затем активность каждой пробы измеряли с помощью гамма-спектрометра на базе особо чистого германия. Для обработки аппаратурных гамма-спектров была использована программа «Genia-2000», разработанная компанией CANBERRA. Погрешность измерений составила 10–15 %.

Путем измерения площади под пиком полного поглощения определяемого элемента в i -м образце и в образце сравнения (стандарты МАГАТЭ: лист березы (ЛБ-1) и ТАБАК-6 массой 170–200 мг), было определено содержание элементов относительным методом.

Расчетная формула для концентрации i -го элемента имеет вид (1):

$$C_{xi} = C_{xэт} \frac{S_{xi} \cdot m_{xэт}}{S_{xэт} \cdot M_i} \left[\frac{\text{мкг}}{\text{г}} \right] \quad (1)$$

где C_{xi} – концентрация химического элемента в i -й пробе мха; $C_{xэт}$ – концентрация химического элемента в эталоне; M_i – масса i -й пробы; $m_{xэт}$ – масса химического элемента в эталоне; S_{xi} – площадь под пиком полного поглощения элемента в i -й пробе мха; $S_{xэт}$ – площадь под пиком полного поглощения элемента в эталоне.

В табл. 1 представлены максимальные и минимальные концентрации для исследуемой и фоновой территории.

Таблица 1. Максимальные, минимальные и фоновые значения концентраций, мкг/г

Элемент	max/min	Фоновые	Элемент	max/min	Фоновые
Ba	955/230	193	Na	3179/94	116
Br	16,1/6,2	5,6	Nd	5,1/0,5	0,8
Ca	40000/14350	18120	Rb	42,9/9,1	9,5
Ce	11,8/3,3	3,1	Sb	3,3/0,3	0,2
Co	4,5/1,5	0,9	Sc	1,7/0,5	0,5
Cr	13,6/4,3	3,2	Sm	0,99/0,11	0,18
Cs	1,3/0,2	0,2	Sr	902/107	115
Eu	1,17/0,08	0,10	Ta	0,33/0,05	0,08
Fe	4905/1775	1518	Tb	0,16/0,04	0,04
Hf	1,50/0,11	0,16	Th	1,4/0,5	0,4
La	4,8/1,1	1,5	U	1,10/0,02	0,03
Lu	0,23/0,02	0,01	Yb	1,6/0,11	0,16
Mo	5,3/0,15	0,19	Zn	392/122	80

Содержание всех анализируемых элементов в атмосферном воздухе г. Берёзовский выше фоновых значений. Исключением является кальций, концентрации которого в образцах мха не превышают значимо фоновых значений.

Содержание Sm, Ce, Th, Cr, Hf, Sr, Br, Cs, Sc, Rb, Fe, Zn, Co в атмосферном воздухе г. Берёзовский превышает фоновые значения в несколько раз. Концентрации химических элементов Lu, U, Yb, Sb, Bs, Nd, Na, Mo и Eu в большинстве образцов выше фона в десятки раз. Наиболее загрязнённым является атмосферный воздух в южной части города, в которой преимущественно сосредоточены шахты, обогатительные фабрики и угольный разрез.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект 23-27-00186).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние угледобывающей промышленности Кузбасса на здоровье населения региона / Л.Г. Шутько, Л.Л. Самородова // Уголь. – 2021. – No. 9. – С. 46–50.
2. Geochemistry of coal: Occurrences and environmental impacts of trace elements / Y.E. Yudovich, M.P. Ketris // Coal Production and Processing Technology. – Boca Raton: CRC Press. – 2015. – P. 51–77.

3. Пространственное распределение химических элементов атмосферных выбросов угольной ТЭЦ / Н.К. Рыжакова, В.Ф. Рапута, Н.С. Рогова, А.Л. Борисенко, Е.А. Покровская // Экология и промышленность России. – 2013. – No. 1. – С. 52–55.
4. Микроэлементный состав снежного покрова в окрестностях угольных и газовых котельных как показатель экологичности используемого топлива / А.В. Таловская, Е.Г. Языков, Е.А. Филимоненко, Н.А. Осипова, Т.С.Шахова // Безопасность в техносфере. – 2017. – No. 3. – С. 3–12.
5. О состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2020 г. // URL: https://ako.ru/upload/medialibrary/a7b/doklad_2020.pdf (дата обращения: 02.12.2022).
6. Изучение влияния условий размещения эпифитных мхов на содержание химических элементов при активном мониторинге / Н. С. Рогова [и др.] // Естественные и технические науки. – 2018. – No. 5. – С. 58–66.
7. Способ оценки загрязнения атмосферного воздуха тяжелыми металлами и другими химическими элементами с помощью эпифитных мхов: пат. Рос. Федерация, No 2011117784/28; заявл. 03.05.11; опубл. 10.10.12; Бюл. No. 28. – 12 с.
8. Погода // Gismeteo. URL: <https://www.gismeteo.ru/> (дата обращения: 03.11.2023).

АКТИВАЦИИ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ КАМЕННОГО УГЛЯ НИТРАТОМ ЖЕЛЕЗА И ОТХОДАМИ МЕТАЛЛОПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

М.К. Шуатаев, А.Ж. Калтаев, К.Б. Ларионов, к.т.н.

Томский политехнический университет

Уголь играет важную роль в мировой экономике, поскольку является ключевым энергоносителем, обеспечивающим основные объемы генерации электрической энергии [1]. Однако, его использование также остаётся одним из крупнейших источников эмиссии парниковых газов и других сопутствующих технологических проблем [2]. К настоящему времени в области каталитического сжигания угля существует множество исследований. В одном из исследований [5–7] было установлено, что оксиды металлов (такие как Fe_2O_3 , CeO_2 , ZnO и CuO) положительно влияют на процесс термического преобразования угля, что проявлялось в увеличении скорости реакции окисления с повышением удельного выделения количества тепла. Также было обнаружено, что добавки Fe_2O_3 , CaO и MnO_2 могут ускорять процесс окисления каменного угля и антрацита с эффективным преобразованием их горючей части до CO_2 [6, 8]. Механизм каталитической активации процесса горения органических топлив связан с циклом окисления и восстановления оксидов [7, 9]. Таким образом, катализатор (оксид металла) играет роль агента, обеспечивающий адсорбцию и десорбцию окислителя, что в свою очередь повышает перенос адсорбированного кислорода к углероду и способствует выгоранию выделяющихся летучих соединений и углеродного остатка.

В свою очередь рядом авторов [10–11] было установлено, что использование отходов металлопрокатных производств (металлической окалины) может способствовать к повышению реакционной способности углей, что выражается в увеличении максимальной скорости реакции процесса окисления. В т. ч. использование металлической окалины позволяет снизить концентрацию оксида азота, образующегося в процессе горения угля [10]. Также в качестве активирующих добавок также могут быть использованы прекурсоры оксидов металлов в виде нитратов, карбонатов, ацетатов и сульфатов металлов [12]. Основным эффектом использования прекурсоров оксидов металлов является усиление их активирующего действия за счет двухстадийного механизма горения угля [13], который связан с разложением соли и выделением соответствующих газофазных продуктов (стадия 1) и последующим образованием оксида металла (стадия 2). Таким образом, прекурсоры в случае их комбинирования с оксидами металлов (например, металлической окалиной) могут оказывать усиливающее воздей-