

# ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ ТОКСИЧНЫМИ МЕТАЛЛАМИ В ШАХТЕРСКИХ ГОРОДАХ КУЗБАССА

Н. К. Рыжакова<sup>1)</sup>, К. А. Тайлашева<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», пр. Ленина, 30, 634050, г. Томск, Россия, kat14@tpu.ru

В работе проведен анализ результатов активного биомониторинга загрязнения приземного слоя атмосферы шахтерских городов Кемеровской области наиболее токсичными металлами. В качестве биоиндикатора использован эпифитный мох *Pylaisia polyantha*; определение содержания металлов в образцах мхов проведено методами нейтронно-активационного анализа и атомно-эмиссионной спектрометрии. На основе результатов исследования построены пространственные распределения уровней загрязнения токсичных металлов, выявлены их источники. Уровень загрязнения определяется как отношение концентрации загрязняющего вещества в образце мха, экспонированном на исследуемой территории, к концентрации этого вещества в образце мха, экспонированном на чистом участке.

**Ключевые слова:** биомониторинг; токсичные металлы; предприятия угольной промышленности; загрязнение атмосферного воздуха.

## POLLUTION OF NEAR-SURFACE ATMOSPHERE WITH TOXIC METALS IN MINING TOWNS OF KUZBASS

N. K. Ryzhakova<sup>1)</sup>, K. A. Tailasheva<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> National Research Tomsk Polytechnic University, Lenina ave., 30, 634050, Tomsk, Russia, kat14@tpu.ru

The paper analyzes the results of active biomonitoring of near-surface atmospheric pollution by the most toxic metals in mining towns of the Kemerovo region. The epiphytic moss *Pylaisia polyantha* was used as a bioindicator. The metal content in moss samples was determined using neutron activation analysis and atomic emission spectrometry. Based on the research results, spatial distributions of toxic metal pollution levels were constructed, and their sources were identified. The pollution level is defined as a ratio of the pollutant concentration in the moss sample exposed in the studied area to that in the moss sample exposed in a clean area.

**Keywords:** biomonitoring; toxic metals; coal industry enterprises; atmospheric air pollution.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-216-220>

Угледобыча является основной отраслью промышленной специализации Кемеровской области. В результате деятельности шахт, разрезов, обогатительных фабрик происходит загрязнение атмосферного воздуха мелкодисперсными выбросами, содержащими в значительных количествах токсичные металлы [1-3]. Некоторые жизненно необходимые микроэлементы, такие как Fe, Co, Ni, Mn, Cu, Mo, Se, Cr, Zn, включаются в списки токсичных при условии длительного воздействия на организм человека [4]. Высокие концентрации некоторых из перечисленных элементов были определены в данном исследовании. В больших количествах на исследуемых территориях был обнаружен U, который вместе с продуктами распада оказывает токсичное и радиационное воздействие. Также в некоторых точках наблюдения были обнаружены высокие концентрации редкоземельных металлов Lu, Nd и Eu, относящихся к малоизученным микроэлементам.

Целью исследования является изучение и сравнительный анализ уровней загрязнения приземного слоя атмосферы токсичными металлами в городах Березовский и Ленинск-Кузнецкий Кемеровской области, на территории которых расположены многочисленные предприятия угольной промышленности.

Исследование проведено методом активного биомониторинга с помощью эпифитного мха [5; 6], который подразумевает размещение подготовленных образцов мха на исследуемой территории. Метод мхов-биоиндикаторов обеспечивает времена экспозиции, достаточные для оценки уровней загрязнения атмосферного воздуха металлами. В качестве ПДК используется природное содержание металлов во мхах, измеренное в фоновых образцах.

На территории г. Березовского в июне 2022 г. были размещены образцы эпифитного мха *Pylaisia polyantha* в 33 точках (рис. 1, а); 3 фоновых образца были размещены в д. Медынино (Кемеровская область). В окрестностях г. Березовского расположены шахты «Березовская», «Южная», «Первомайская»; обогатительные фабрики «Березовская», «Барзасское товарищество», «Черниговская», «Черниговская-Коксовая», «Северная»; угольные разрезы «Черниговский» и «Кедровский».

На территории г. Ленинск-Кузнецкого образцы мха были размещены в мае 2023 г. в 28 точках (рис. 1, б); 3 образца были размещены на фоновой территории в д. Новоборачаты (Кемеровская область). В окрестностях г. Ленинск-Кузнецкого действуют шахты «Алексиевская», «Байкальская», «Заречная», «Октябрьская», «Шахта им. С.Д. Тихова», «Костромовская», «Шахта им. С.М. Кирова», «Листвяжная»; обогатительные фабрики «Спутник», «Листвяжная»; угольные разрезы «Моховский» и «Сартакинский».

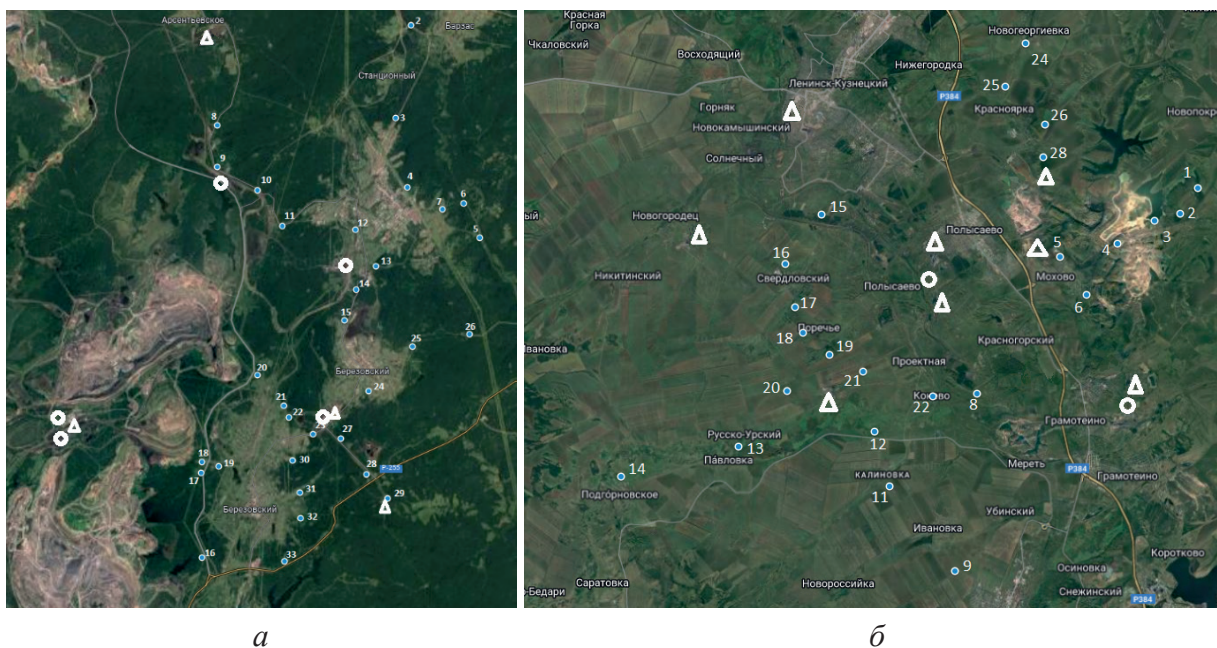


Рис. 1. Схема расположения точек размещения образцов мха (треугольник – шахта, круг – обогатительная фабрика): а – г. Березовский; б – г. Ленинск-Кузнецкий

Период экспозиции для г. Березовского составил 4 месяца, для г. Ленинск-Кузнецкого – 5 месяцев, после чего был проведен сбор образцов. Концентрации металлов в образцах мхов определены с помощью нейтронно-активационного анализа (НАА) и атомно-эмиссионной спектроскопии (АЭС). Погрешность определения для НАА не превышает 10-15 %, для АЭС – (20-40) %. Результаты измерений представлены в таблице. Значения концентраций Al, As, Cd, Cu, Mn, Ni, Pb, Se были получены с помощью АЭС. Значения концентраций Ba, Co, Cr, Eu, Fe, Hf, Lu, Mo, Nd, Sb, Sm, Sr, U, Zn были определены методом НАА.

**Минимальные, максимальные, средние, фоновые значения концентраций, мкг/г**

Элемент	Мин./макс.	Сред./фон.	Мин./макс.	Сред./фон.
	г. Березовский		г. Ленинск-Кузнецкий	
Al	1072/3339	1850/1386	1085/12352	2776/1651
As	0,37/2,21	1,23/0,45	0,55/25,9	5,1/1,7
Ba	230,6/955,6	428,4/193,0	460,0/1535	863,3/601,5
Cd	0,15/3,54	0,56/0,15	0,17/2,21	0,49/0,40
Co	1,53/4,57	2,38/0,98	12,8/178,7	40,05/32,86
Cr	4,34/13,58	7,32/4,20	4,08/22,74	9,24/8,48
Cu	4,22/20,9	6,60/4,16	7,83/101,32	22,65/10,7
Eu	0,08/1,17	0,34/0,10	0,06/1,11	0,24/0,14
Fe	1174/4905	2727/1518	637,7/8490	2259/996,6
Hf	0,49/1,50	0,83/0,34	0,25/8,31	1,37/0,38
Lu	0,02/0,23	0,08/0,02	0,01/0,35	0,06/0,02
Mn	418/1226	745/486	389,5/1123	693,5/773,0
Mo	0,15/5,30	2,19/0,19	0,01/0,24	0,10/0,004
Nd	0,55/5,10	2,17/0,88	0,42/8,96	2,50/1,10
Ni	3,2/8,4	5,6/5,1	2,36/9,26	5,37/5,9
Pb	2,28/6,91	4,63/3,21	3,08/9,40	5,29/5,7
Sb	0,33/3,03	1,37/0,22	0,10/1,80	0,63/0,23
Se	0,07/5,03	0,76/0,22	-	-
Sm	0,11/0,99	0,36/0,18	0,11/2,84	0,72/0,08
Sr	107,1/902,5	283,5/115,0	92,7/294,8	184,7/144,4
U	0,02/1,10	0,34/0,04	0,11/3,52	0,69/0,20
Zn	122,3/392,6	201,5/80,0	114,4/499,6	221,4/195,6

На обеих исследуемых территориях концентрации Al, Ba, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb в подавляющем большинстве точек не превышают значимо фоновые значения, однако высокие концентрации Ba обнаружены в точках рядом с угольными разрезами и обогатительными фабриками.

Практически во всех точках размещения мхов-биоиндикаторов обнаружен высокий уровень загрязнения Mo: в г. Березовском наблюдается превышение фона до 27 раз, в г. Ленинск-Кузнецком – до 60 раз. Следовательно, источниками этого токсичного металла являются все предприятия угольной промышленности, расположенные на территориях исследуемых городов. Наиболее высокие концентрации U, до 30 раз превышающие фоновые, также обнаружены на территориях, прилегающих к шахтам, обогатительным фабрикам, угольным разрезам в обоих городах.

В зонах влияния обогатительных фабрик г. Березовского концентрации Se, Sr и Zn превышают фон в 4-8 раз. Концентрации As, Cd, Co, Lu, Sb превышают фоновые значения в 4,5 и более раз на южной части территории. На отдельных участках вблизи шахт, угольных разрезов и обогатительных фабрик, также расположенных в основном на южной части, наблюдаются высокие концентрации Eu и Nd, до 6 раз превышающие фон. Наибольшие концентрации Co и Sb в г. Березовском обнаружены вблизи угольных разрезов и обогатительных фабрик; Sr – вблизи обогатительных фабрик. Концентрации Sm и Hf не отличаются значимо от фоновых в большинстве точек размещения образцов.

В г. Ленинск-Кузнецком концентрации Sm на порядок превышают фон в точках, находящихся рядом с шахтами; концентрации Hf, Lu, Sb выше фона в несколько раз в большинстве точек размещения мхов. Наиболее загрязненной является территория, прилегающая к угольному разрезу «Моховский»: в образцах мха, экспонированных в точках 1-6, обнаружены высокие концентрации большинства элементов. Однако значимо отличающихся от фоновых концентраций элементов As, Cd, Co, Eu, Nd, Sr, Zn в большинстве точек размещения образцов в г. Ленинск-Кузнецком обнаружено не было.

По большому количеству токсичных металлов атмосферный воздух в г. Березовском более загрязнен, чем в г. Ленинск-Кузнецком. Например, в воздухе г. Березовского наблюдается значительно более высокое содержание U (рис. 2), обладающего сильным токсическим и канцерогенным действием.

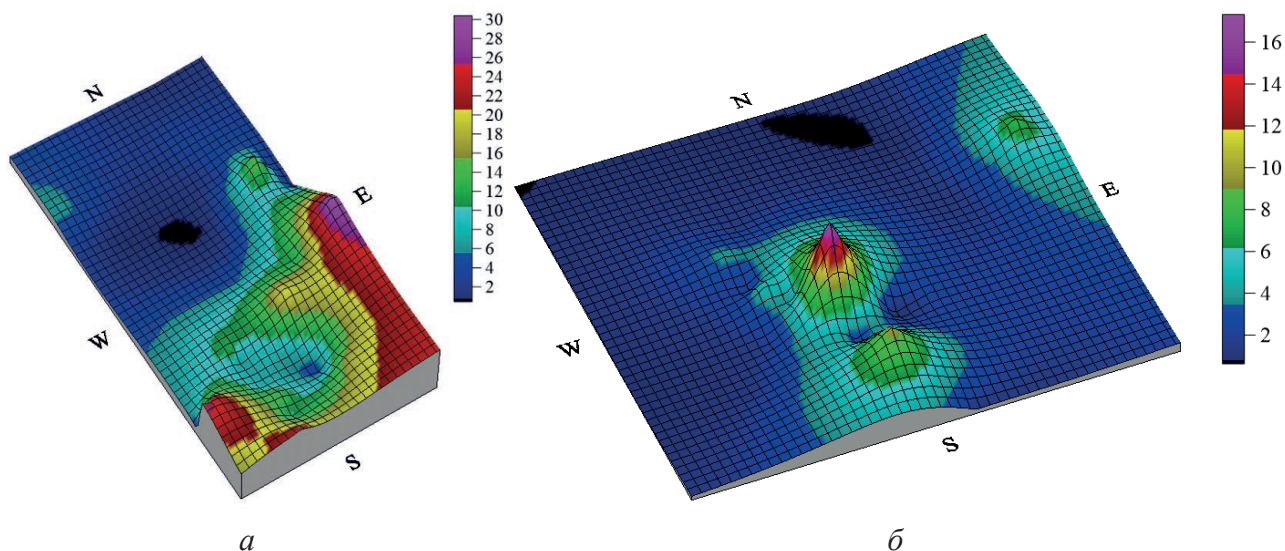


Рис. 2. Уровень загрязнения U:  
а – г. Березовский; б – г. Ленинск-Кузнецкий

В г. Березовском наблюдается также более высокий по сравнению с г. Ленинск-Кузнецким уровень загрязнения Ва, Cd, Co, Eu, Lu, Nd, Sb, Sr и Zn (рис. 3).

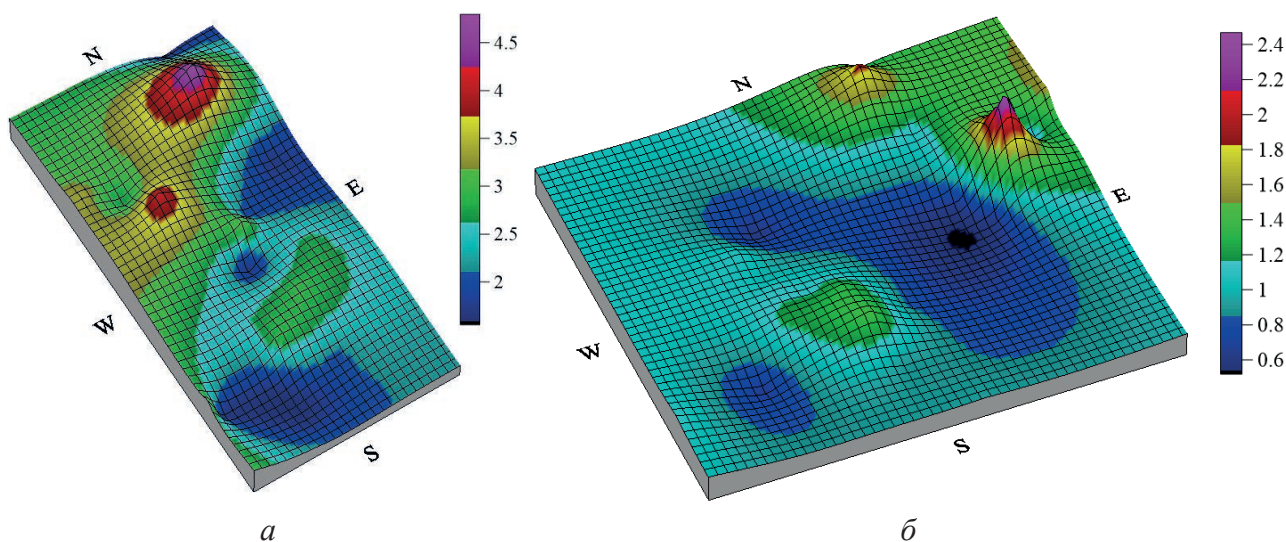


Рис. 3. Уровень загрязнения Zn:  
а – г. Березовский; б – г. Ленинск-Кузнецкий

Высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха г. Березовского токсичными металлами скорее всего объясняется тем, что в отличие от г. Ленинск-Кузнецкого в этом городе расположены большие по территории угольные разрезы, где уголь добывается открытым способом.

Основные результаты исследования состоят в следующем: 1. В атмосферном воздухе г. Березовского обнаружено более высокое содержание Ba, Cd, Co, Eu, Lu, Nd, Sb, Sr, Zn и U, чем в воздухе г. Ленинск-Кузнецкого. Основными источниками токсичных металлов для этого города являются угольные разрезы. 2. Наибольший вклад в загрязнение приземного слоя атмосферы г. Березовского вносят Mo, Sb и U. 3. Наибольший вклад в загрязнение приземного слоя атмосферы г. Ленинск-Кузнецкого вносят Mo, источниками которого являются все предприятия угольной промышленности, и Sm, источниками которого являются шахты, находящиеся в большом количестве на территории этого города.

### Библиографические ссылки

1. Шутько Л. Г., Самородова Л. Л. Влияние угледобывающей промышленности Кузбасса на здоровье населения региона // Уголь. 2021. № 9 (1146). С. 46–50.
2. Yudovich Ya. E., Ketris M. P. Geochemistry of Coal. Occurrences and Environmental Impacts of Trace Elements // Coal Production and Processing Technology. Boca Raton: CRC Press. 2015. P. 48–73.
3. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области Кузбасса в 2020 году [Электронный ресурс]. URL: [https://ako.ru/upload/medialibrary/a7b/doklad\\_2020.pdf](https://ako.ru/upload/medialibrary/a7b/doklad_2020.pdf) (дата обращения: 03.02.2025).
4. Скальный А. В., Рудаков И. А. Биоэлементы в медицине. 2004.
5. Rogova N. S., Ryzhakova N. K., Borisenko A. L. Effect of placement conditions for active monitoring of trace element with the epiphytic moss // Environmental monitoring and assessment. 2018. Vol. 190. P. 1–11.
6. Borisenko A. L., Ryzhakova N. K., Rogova N. S. Mosses as indicators of urban environmental pollution: Examples of *Pylaisia polyantha* (Hedw.) BSG from West Siberia // Mosses: Ecology, Life Cycle and Significance. 2018. P. 27–57.