

Абдусамадзода Д., Абдушукуров Д.А., Фронтасьева М.В.

МОХТОРДУН НЕГИЗИНДЕГИ БИОМОНИТОРЛОР ТАЖИКСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫН АЙМАГЫНДА КОЛДОНУУ ТАЖРЫЙБАСЫ

Абдусамадзода Д., Абдушукуров Д.А., Фронтасьева М.В.

БИОМОНИТОРЫ НА ОСНОВЕ МХОВ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

D. Abdusamadzoda, D.A. Abdushukurov, M.V. Frontasyeva

BIOMONITORS BASES ON THE MOSSES ON THE TERRITORY OF REPUBLIC OF TAJIKISTAN

УДК: 57.084.1

Биринчи жолу Тажикстанда биомониторингдин (био-маркерлер) ыкмасын райондордун экологиясынын абалына мониторинг жүргүзүү жана атмосферадан оор металлдардын алынуусуна жүргүзүү үчүн колдонгон. Анткени Тажикстан кургак зонада жайгашкан, жана мохтор бир гана 1200 м жогору бийиктикте жакишы нымдалган орундарда булактар жанында табылган. Сыноолордун учурунда 40 макро- жана микроэлементтер аныкталган. Тоодогу элементтер бөлүштүрүү боюнча маалыматтары алынган. Металлдар түшө турган аномалдык зоналары аныкталган. Бул Оджук жана Сиома Варзоб капчыгайындагы, Сарбо Рамит капчыгайда, Ванджа мохтор. Искандеркул жана И Зиддах айланасында мохтор сымап менен күчтүү байытылган. Өз ара байланыш жана жагдайлар анализдер жүргүзүлгөн менен маалыматтар кабыл алынган. Аныкталган металлдардын төмөндөшү 4 жагдайлаыр бар - ар кандай теги менен, табигыйден антропогендик чейин. Тажикстан жана Казакстан мохтор боюнча металл топтолуу окшоштук салыштуруу жүргүзүлгөн. Тажикстан мохтору биик даражада оор металлдар менен булганган. Анын. бир себеби татаал география орундар болушу мүмкүн, тыгыз кууш капчыгайлар бардыгы, кайда аба агымы кысуу болуп саналат жана ага ылайыктуу абада металлдардын концентрациясынын көбөйүшү болушу мүмкүн. Дагы бир нерсеси, "Оогандар" чаң-чапкындар борондору болуп саналат".

Негизги сөздөр: биоиндикаторлор, мохтор, Тажикстан, оор металлдар, экология, элементтик анализи.

Впервые в Таджикистане был применен метод мхов (биомаркеров) для мониторинга за состоянием экологии районов и выпадения тяжелых металлов из атмосферы. Так как Таджикистан расположен в аридной зоне, то мхи встречаются лишь на высотах более 1200 м.н.у.м. в хорошо увлажненных местах рядом с родниками. В ходе анализов были определены 40 макро и микроэлементов. Получены данные о распределении элементов в горах. Выявлены аномальные зоны выпадения металлов. Это Оджук и Сиома в Варзобском ущелье, Сарбо в Рамитском, во мхах Ванджа. Мхи вокруг Искандеркуля и в Зиддах сильно обо-

гащены сурьмой. Проведены корреляционные и факторные анализы полученных данных. Выявлено 4 фактора выпадения металлов, имеющих разное происхождение - от натуральных до антропогенных. Проведено сравнение концентрации металлов во мхах Таджикистана и Казахстана. Мхи Таджикистана в большей степени загрязнены тяжелыми металлами. Одной из причин может быть сложная география местностей, наличие узких горных ущелий, в которых происходит сжатие воздушных потоков и соответственно увеличение концентрации металлов в воздухе. Другим фактором является наличие пыльных бурь «Афганцев».

Ключевые слова: биоиндикаторы, мхи, Таджикистан, тяжелые металлы, элементный анализ, экология, зоны загрязнения.

For the first time in Tajikistan, the mosses biomonitoring method (biomarkers) was used for monitoring of the ecological condition of areas and the deposition of heavy metals from the atmosphere. Since Tajikistan is located in the arid zone, mosses are rarely can found at altitudes of more than 1200 meters above sea level, in well-humid places near springs. The prepared samples were sent to JINR, Dubna, for neutron activation analysis at the IBR-2 reactor. During the analysis were identified 40 major and microelements. Interesting data was obtained on the distribution of elements in the mountains regions. Anomalous metal deposition zones were revealed. These are Ojuk and Sioma in the Varzob gorge, Sarbo in Ramit, in the mosses of Vanj. The mosses around Iskanderkul and in Ziddi are highly enriched by antimony. Mathematical correlation and factor analysis of the data was conducted. 4 factors of metal deposition with different origin from natural to man-made were identified. The concentration of metals in mosses of Tajikistan and Kazakhstan was compared. The mosses of Tajikistan are much more polluted with heavy metals. One of the reasons may be the complex geography of areas, the presence of Narrow Mountain gorges in which the air flows are compressed and, accordingly, the concentration of metals in the air increases. Another factor is the presence of dust storms "Afghans".

Key words: bioindicators, mosses, Tajikistan, heavy metals, elemental analysis., ecology, pollution zones.

Введение. Мхи широко используются в качестве объектов исследований при экологическом мониторинге [1-2].

Мох является естественным биоиндикатором (био-маркером), который может реагировать на загрязнение окружающей среды или засуху, в зависимости от того, что происходит вокруг него, и в результате этого он меняет свою форму и толщину или может полностью исчезнуть. Мхи не имеют корневой системы и поглощают питательные и загрязняющие вещества непосредственно из атмосферы. Именно по этой причине они стали подходящим инструментом для пространственного и временного мониторинга атмосферных осадений [3].

Объекты и методы исследований. Первые результаты мониторинга, проведенные в рамках исследования мхов в Таджикистане, относятся к 2016 - 2017 гг., когда Таджикистан впервые присоединился к Европейскому исследованию мхов в рамках Международной совместной программы по воздействию загрязнения воздуха на естественную растительность и сельскохозяйственные культуры по программе UNECE/ICP Vegetation [3].

Исследование проводилось в рамках Соглашения о сотрудничестве между Институтом водных проблем, гидроэнергетики и экологии Академии наук Таджикистана и Сектором нейтронно - активационного анализа и прикладных исследований Лаборатории нейтронной физики им. Франка ОИЯИ, г. Дубна.

В каждой точке отбора отбирали 5-10 образцов мхов с площади 50x50 м² и смешивали в одну пробу. После удаления чужеродных растительных материалов образцы высушивались при температуре 30 - 35 °С. Более свежие сегменты мхов из рода «*Hylocomium splendens*» отбирались для нейтронно-активационного анализа (НАА) [4-5].

Определенные проблемы возникли с отбором проб, так как Таджикистан расположен в аридной зоне и мхи встречаются только на высотах свыше 1200 м, в хорошо увлажненных местах рядом с родниками (рис. 1 и табл. 1).

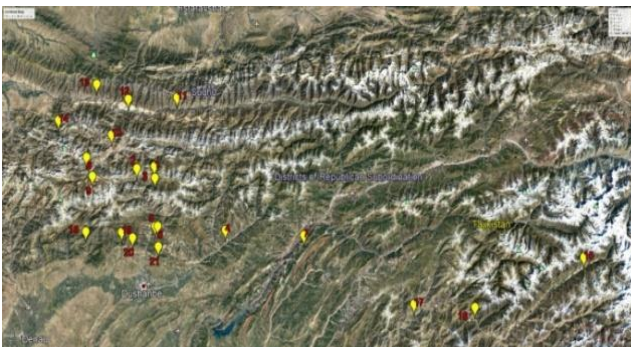


Рис. 1. Места отбора образцов

Таблица 1

Описание образцов

№ проб	Точки отбора	Координаты		Высота, м
		Широта	Долгота	
S1	Зидди	39.065222	68.848861	2360
S2	Майхура	39.052556	68.724139	2029
S3	Сиома	38.971110	68.741299	1677
S4	Сарбо	38.764147	69.364256	1256
S5	Оджук 1 (Варзоб)	38.774667	68.858694	1319
S6	Оджук 2	38.775444	68.878222	1434
S7	Рогуни Боло (Вахш)	38.745056	69.926889	1726
S8	Искандеркуль 1	38.097694	68.083333	2356
S9	Искандеркуль 2	39.055056	68.333333	2212
S10	Оби Хуиш, р-он Айни	39.212889	68.533333	1638
S11	Остонак (Старая Магча)	39.401111	69.001528	1792
S12	Томин (Старая Магча)	39.3895	68.644306	1509
S13	Оби Шохнуш	39.457694	68.410694	1360
S14	Аргуч (Альплагерь)	39.275389	68.142139	2166
S15	Гумаст (Вандж)	38.637417	71.929722	2097
S16	Поштхарв (Вандж)	38.401028	71.147917	1458
S17	Сангевн (Вандж)	38.416028	70.715028	1256
S18	Каратаг	38.738222	68.35825	1275
S19	ХонакониБоло	38.741194	68.61775	1465
S20	ЛучобиБоло	38.715667	68.696944	1340
S21	Харангои Боло	38.676361	68.883333	1605

НАА проводили на реакторе ИБР-2. Для контроля качества анализов облученные образцы сравнивали с сертифицированными эталонами (листья помидора, сосновые иглы, персиковые листья, образцы угля) с определенными концентрациями микроэлементов (МАГАТЭ, Вена) [5].

Результаты исследований. Высокие значения концентраций обнаружены для макроэлементов Al, Fe, Ti и Mn (рис. 2) во всех точках отбора проб в диапазоне 2680-34300, 1260-21500, 35,7-620 и 159-2580 мг/кг, соответственно. Подобные значения зависят от геологических особенностей регионов.

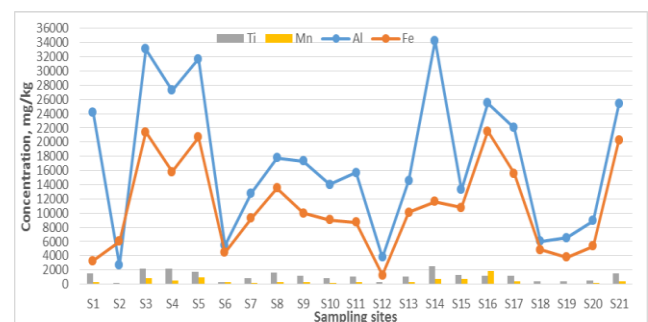


Рис. 2. Концентрации макроэлементов в образцах

Основное количество этих элементов связано с лессовым почвами, образованными во время пылевых бурь, что характерно для глиноземсодержащих минералов - бокситов, алунитов и нефелиновых сиенитов, которые известны в Таджикистане (среднее содержание Al₂O₃ доходит до 30 %). Кроме того, в

Центральном Таджикистане имеются значительные месторождения нефелиновых сиенитов. Содержание глинозема (глины) в крупных нефелиновых сиенитах составляет до 22%. Также имеется огромное количество железной руды в форме магнетитов (магнетитовая руда Харангона). Высокая концентрация Ti и Mn, соответственно, может быть связана с сиенитами и карбонатами.

Большая разница наблюдается в концентрациях Zn, V, Cr, Cu, Ni, As, Pb, Co, Cd, Sb, Hg, W, Mo и Se в образцах (рис. 3а и рис. 3в).

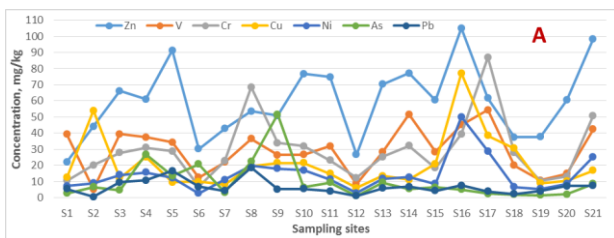


Рис. 3а. Распределение концентраций микроэлементов во мхах

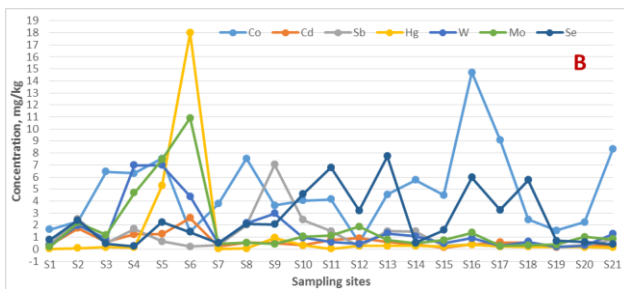


Рис. 3в. Продолжение рис. 3

Высокое содержание Zn обнаружено в S3, S5, S10, S11, S13, S14, S16 и S21, которое колеблется в пределах 66-705 мг/кг.

Концентрация As во всех образцах варьирует от 1,1 до 51,6 мг/кг. Особо высокое содержание As в регионах, близких к угольному месторождению Зидды и горно-обогатительной фабрики на месторождении «Джиджикрут». Высокие значения указанных элементов показывают уровень загрязнения в разных изученных районах.

Содержание Co очень высоко по сравнению с другими металлами (варьирует 0,55-14,7, рис. 3в). На участках S5, S6, S8, S16, S17 и S21 были определены значительные концентрации Co.

Высокая концентрация Hg обнаружена в S5 и S6 (5,27 и 18 мг/кг соответственно) с ошибкой 26 %. Это может быть связано с нелегальной добычей золота. Золотодобытчики используют жидкую ртуть для сепарации тяжелых шлихов. Обычно сублимацию паров ртути производят на открытом огне, используя примитивные технологии. В других исследованных

регионах содержание ртути колебалось в пределах 0,02 - 0,9 мг/кг.

Содержание Ta и Hf во мхах колеблется в пределах 0,04-2,12 и 0,28-6,80 мг/кг соответственно. Содержание Zr варьирует от 11,8 до 318,0 мг/кг.

Все образцы мхов обогащены редкоземельными элементами (РЗЭ). На рис. 4а и рис. 4в показано распределение РЗЭ в образцах.

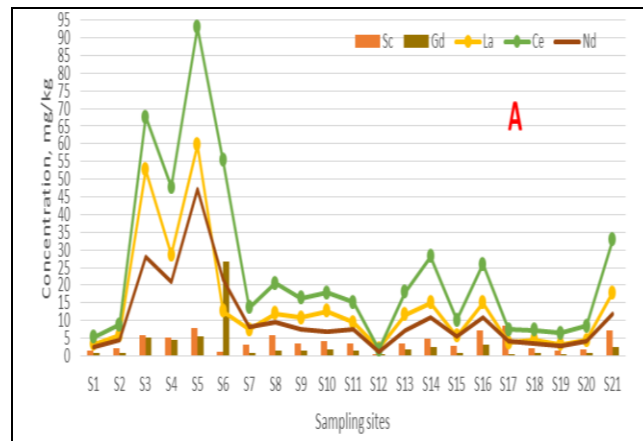


Рис. 4а. Содержание РЗЭ

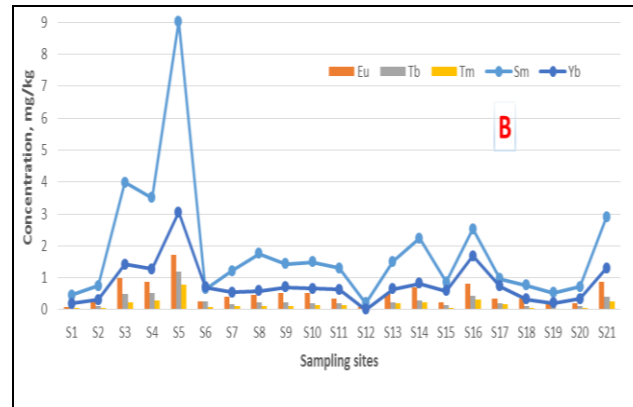


Рис. 4в. Продолжение рис. 4а

Например, содержание Ce, La и Nd во мхах варьирует от 1,74 до 93,0; 2,12-59,7 и 1,03-47,1 мг/кг, соответственно. Высокое содержание этих элементов было определено на участках S3, S4, S5, S6, S13, S14, S16 и S21.

Кроме того, высокое содержание Gd было обнаружено в точке S6 Оджук (21,8 мг/кг) (рис. 4а).

В природных образованиях Gd бывает спутником урана. Содержание Th, U, а также Cs во мхах варьирует от 0,42 до 51,10; 0,29-212; 0,32-27,10, соответственно. Высокое содержание Th, U Cs выявлено в точках S3, S4, S5, S6. Это связано с выветриванием пыли с пегматитовых пород Оджука в S5 и S6 и с других пород в районе ущелья Сиома S3 (рис.5).

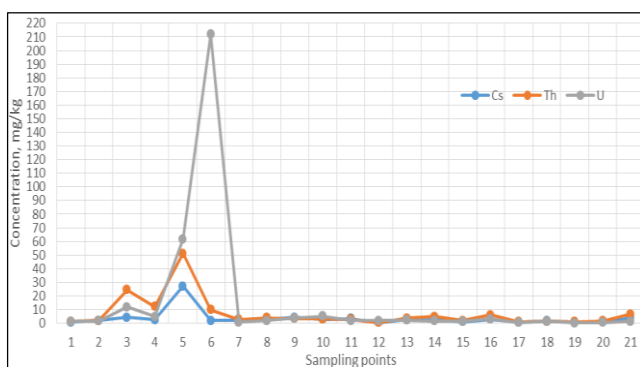


Рис. 5. Содержание Cs, Th, U в образцах

Подобные геохимические аномалии описаны нами в ранних работах по гидрохимии воды и геохимии донных отложений и почв ущелья Варзоб [6-8].

Кларк Th намного превышает кларк U в земной коре, но в мхах концентрация урана значительно выше. Это очевидно связано, с тем, что Th образует труднорастворимые минералы, а растения могут впитывать только растворимые формы.

На рис. 6 приведены средние значения концентраций элементов во мхах в Таджикистане (2017 г.) в сравнении с мхами в Казахстане в 2016 г. [9], которые были проанализированы тем же методом биомониторинга атмосферных осадков.

Из рис. 6 видно, что концентрации всех элементов в Таджикистане превышают концентрации во мхах Казахстана.

Это можно объяснить региональным загрязнением из местных источников и результатом переноса из естественных источников - то есть в зависимости от циркуляции воздуха над поверхностью горных пород и загрязнением региона от развитой дорожной сети и автомобильного транспорта.

Для определения основных источников загрязнений мха и особенностей распределения элементов в них были проведены корреляционные и факторный анализ полученных данных.

Факторный анализ. Данные о концентрации элементов в образцах, обработанные с помощью анализа «FA Varimax Rotation» с использованием программного пакета «SPSS Statistics 17» [10], были проанализированы с использованием факторного анализа. Результаты факторного анализа сведены в табл. 2.

Фактор 1: Более высокие значения коэффициентов анализа в порядке убывания представляют собой следующие элементы. Sm, La, Ta, Th, Tb, Rb, Eu, Nd, Ce, Tm, Yb, Cs, Hf, Na, Zr, Ba, Pb, W, Al, Fe и, Ti. Источниками распространения этих элементов являются процессы выветривания поверхности горных пород и почвы (натуральный процесс).

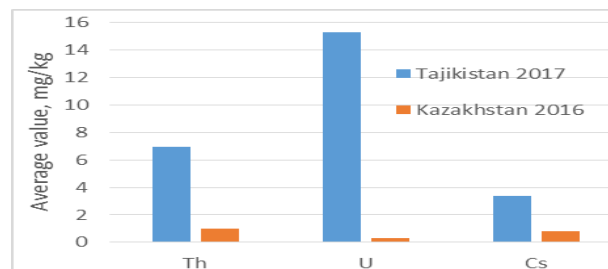
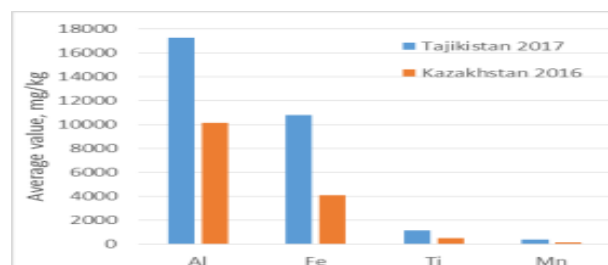
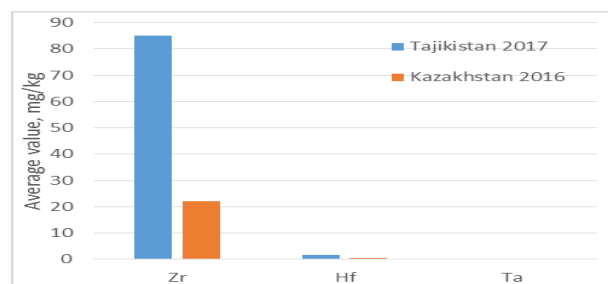
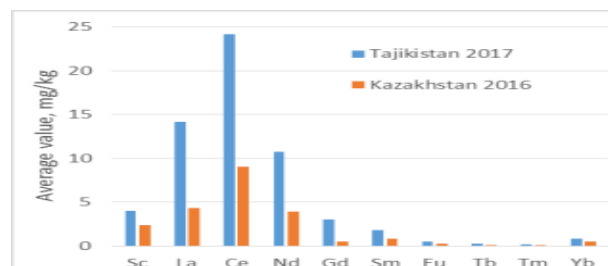
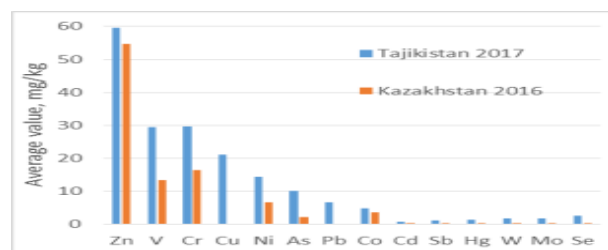


Рис. 6. Сравнение данных по мхам Казахстана (2016 г.) и Таджикистана (2017 г.)

Фактор 2: Основными составляющими этого фактора являются Ni, Co, Sc, Cu, Fe, Cr, Zn, V и Mn.

Высокая концентрация этих элементов была обнаружена в точках отбора проб (S16 и S17), которая связана со сложной геологией Западного Памира. Концентрирование металлов может происходить за счет сложной географии горных районов.

Таблица 2.

Основные компоненты факторного анализа

Вращательный компонент матрицы									
Элементы	Компоненты				Элементы	Компоненты			
	Фактор1	Фактор2	Фактор3	Фактор4		Фактор1	Фактор2	Фактор3	Фактор4
Na	0,796	0,372	0,040	-0,074	Zr	0,771	0,139	0,330	-0,244
Mg	0,390	0,534	-0,388	-0,247	Mo	0,393	-0,137	0,883	0,021
Al	0,682	0,466	-0,259	-0,272	Cd	0,133	-0,177	0,851	0,140
Cl	0,032	-0,176	0,178	0,851	Sb	0,034	-0,006	-0,113	0,315
K	0,597	0,139	-0,068	0,536	I	0,168	-0,173	0,250	0,734
Sc	0,548	0,764	-0,132	-0,061	Ba	0,696	0,405	-0,124	-0,063
Ca	-0,256	-0,390	-0,144	0,140	Cs	0,859	-0,014	0,136	0,204
Ti	0,628	0,344	-0,333	-0,338	La	0,954	0,101	0,113	-0,029
Cr	0,062	0,700	-0,219	-0,067	Ce	0,884	0,100	0,423	-0,083
V	0,331	0,696	-0,303	-0,250	Nd	0,916	0,064	0,377	-0,059
Mn	0,413	0,684	0,083	-0,136	Eu	0,919	0,333	0,025	0,047
Ni	0,045	0,946	-0,111	0,025	Gd	0,124	-0,038	0,937	-0,117
Fe	0,648	0,711	-0,091	-0,134	Sm	0,962	0,180	0,050	0,040
Co	0,321	0,926	-0,081	-0,079	Tb	0,927	0,244	0,185	0,018
Zn	0,481	0,699	-0,163	0,211	Yb	0,862	0,411	0,174	0,030
Pb	0,689	0,216	0,095	-0,205	Tm	0,880	0,300	0,114	0,095
Cu	-0,252	0,718	0,076	0,199	Hf	0,827	0,230	-0,010	-0,208
Se	-0,228	0,319	-0,004	0,687	Ta	0,941	0,033	0,218	0,049
As	0,204	0,025	0,260	-0,012	W	0,660	-0,034	0,497	-0,005
Br	-0,030	-0,065	-0,070	0,814	Hg	0,092	-0,130	0,950	-0,047
Sr	-0,177	-0,119	-0,127	0,247	Th	0,938	-0,006	0,229	0,022
Rb	0,928	0,091	0,138	0,163	U	0,119	-0,131	0,949	-0,053
Prp. Total						16,55	7,27	5,89	3,60
Explained variance, %						37,62	16,51	13,39	8,19

В условиях узких каньонов происходит сжатие воздушных масс и соответственно увеличение концентрации металлов. В других точках высокое содержание этих элементов может быть связано с автомобильным транспортом.

Фактор 3: Основными составляющими этого фактора являются Hg, U, Gd, Mo, Cd.

Высокие концентрации U и Gd связаны с пегматитовыми породами Оджука.

Фактор 4: Фактор включает три галогена Cl, Br и I, а также Se, которые являются элементами растительного происхождения.

Выводы

1. Впервые на территории Таджикистана был применен метод мхов-биомониторов в сочетании с нейтронно-активационным анализом и атомно-абсорбционной спектроскопией для определения

атмосферного осаждения тяжелых металлов на территории Таджикистана.

2. Средний уровень концентрации Pb, Zn и Cr в образцах мхов в Таджикистане 2017 г. выше, чем средний уровень концентрации Pb в образцах мхов в Казахстане, что указывает на сильное влияние антропогенных факторов, таких как выбросы от выхлопных газов, обработки металлов и геогенное происхождение вызванными пыльными бурями.

3. Методы обработки графических и статистических данных выявили как антропогенное и естественное происхождение ряда токсических элементов, присутствующих в атмосферном воздухе, это Cd, Zn, Sb, Pb, As, Cu, Cr, Ni и V. В локальных областях обнаружены концентрации элементов превышающие фоновые значения в десятки раз.

4. Индекс уровня загрязнения (PLI site) показал, что некоторые зоны сильно загрязнены Hg, Cd, Pb, Ni, Fe и Zn. Выявлено, что загрязняющая нагрузка уменьшается с увеличением расстояния от источников загрязнения. Наиболее загрязненные участки находятся вблизи наиболее населенных городских районов, что может привести к значительным последствиям для здоровья. Эмиссия газов от транспортных средств, отраслевая промышленность и особенно горнодобывающая были определены как один из факторов атмосферного загрязнения воздуха в Таджикистане.

Литература:

1. Berg, T., Røyset, O., Steinnes, E., Vadset, M., Atmospheric trace element deposition: principal component analysis of ICP-MS data from moss samples. *Environ. Pollut.* 88, 1995. С. 67–77.
2. Grahamr C. *Data Analysis for the Chemical Sciences. A Guide to Statistical Techniques.* New York, VCH, 1993, pp. 536.
3. ICPVegetation, <https://icpvegetation.ceh.ac.uk/> (accessed 01.12. 2018)
4. Frontasyeva M.V. Neutron activation analysis in the life sciences. *Phys. Part. Nucl.* 42, 2011, 32–378
5. Frontasyeva M, Harmens H, Uzhinskiy A and the participants of the moss survey. Mosses as biomonitors of air pollution: 2015/2016 survey on heavy metals, nitrogen and POPs in Europe and beyond. UNECE ICP Vegetation. JINR Publishing Department, Dubna, R. ISBN 978-5-9530-0508-1. 2019, pp. 80
6. Абдушукуров Д.А., Пасселл Х., Салибаева З.Н., «Эколого-аналитическая оценка качества воды в реке Варзоб и ее притоках», *Вестник Таджикского Национального университета, Серия естественных наук*, 1/1 (156), 2015, С. 141-147.
7. Абдушукуров Д.А., Абдусамадзода Д., Стоцкий Д.Ф., «Элементный состав донных отложений реки Варзоб», *Наука и инновация, серия геологических и технических наук, ТНУ*, № 3, 2018, С. 35-42.
8. Abdushukurov D.A., Abdusamadzoda D., Djuraev A.A., Duliu O.G., Frontasyeva M.V., 2018, "Distribution of radioactive isotopes in the mountain and piedmont regions of Central Tajikistan Varzob river valley", *J Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, pp 1-7, <https://doi.org/10.1007/s10967-018-6206-5> (accessed 01.12. 2018)
9. Omarova N.M., Neralieva D.J. Nurkasimova M.U., et al. Environmental monitoring in the Republic of Kazakhstan on the content of heavy metals and radionuclides, *Sustainable Development: Science and Practice*, 1 (20), 2018, 3, (in Russian) http://www.yrazvitiye.ru/wp-content/uploads/2018/06/03-Omarova_et_al.pdf (accessed 01.12. 2018)
10. SPSS Statistics 17.0 Brief Guide,
11. <https://sites.hks.harvard.edu/fs/pnorris/Classes/A%20SPSS%20Manuals/SPSS%20Statistics%20Brief%20Guide%202017> (accessed 01.12. 2018)

Рецензент: д.т.н., профессор Насиров Н.