

P18-2009-90

Н. Балжинням, Г. Ганболд*, Ш. Гэрбиш,
С. Лодойсамба*, М. В. Фронтасьева, С. С. Павлов

ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В КОМПЛЕКСНОМ
БИОМОНИТОРИНГЕ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ
В РАЙОНЕ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВОГО
ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА
«ЭРДЭНЭТ» (МОНГОЛИЯ)

Направлено в журнал «Физик», Монголия

*Центр ядерных исследований МонГУ, г. Улан-Батор

Балжинням Н. и др.

P18-2009-90

Ядерно-физические методы в комплексном биомониторинге уровня загрязнений в районе медно-молибденового обогатительного комбината «Эрдэнэт» (Монголия)

Ядерно-физические аналитические методы — инструментальный нейтронный активационный анализ (ИНАА) и рентгенофлуоресцентный анализ с полным внутренним отражением (РФА ПВО) — были использованы для комплексной оценки уровня загрязнений тяжелыми металлами и другими токсичными элементами в районе горно-обогатительного предприятия «Эрдэнэт» (Монголия). В качестве биомониторов состояния атмосферного воздуха использовались лишайники вида *Paltegera*. Состояние водных ресурсов оценивалось с помощью проб воды и речного ила, общее состояние окружающей среды — с помощью проб почвы. Впервые с целью биомониторинга были использованы образцы внутренних органов пастбищных животных (овец и коз). С помощью эпитеплового нейтронного активационного анализа в исследуемых образцах определялись концентрации более 40 макро-, микро- и следовых элементов как биогенного, так и токсичного характера. Водные образцы, отобранные в соответствии с методикой гидрогеохимического опробования, анализировались методом РФА ПВО, и в них были определены концентрации 14 элементов.

Полученные результаты могут быть использованы для комплексной оценки экологической ситуации вблизи г. Эрдэнэт и планирования мероприятий по охране окружающей среды и здоровья населения.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2009

Baljinnyam N. et al.

P18-2009-90

Nuclear-Physical Methods in Complex Biomonitoring of Pollution in the Copper-Molybdenum Non-Ferrous Industrial Region «Erdenet» (Mongolia)

To develop a system of complex monitoring of heavy metals in the areas affected by hazardous industrial impact of Erdenet Mining Corporation of the environment of Mongolia the biomonitoring techniques were applied in combination with nuclear and related analytical methods. The moss (*Paltegera*) was used to assess the atmospheric deposition patterns of heavy metals and other toxic elements over a large territory affected by non-ferrous industry in the town of Erdenet. Its impact on pasture animals (goats and sheep) was studied through analysis of such inner organs as lung, spleen, liver, kidney, and heart. A total of 40 elemental concentrations in these samples were determined by instrumental neutron activation analysis (INAA) using epithermal neutrons at the IBR-2 reactor, FLNP, JINR, Dubna. The distribution of 14 biogenic elements and heavy metals in water samples was investigated by means of total reflection X-ray fluorescent analysis (TXRF) at Nuclear Research Centre of the National University of Mongolia, Ulaanbaatar. The results obtained evidence for strong accumulation of element-pollutants typical of non-ferrous industry in the town of Erdenet: Cu, Cr, Fe, Ba, etc., along with other trace elements and rare earths for the first time determined in these environmental objects. The results can be used for integrated assessment of ecological situation near the city of Erdenet, and planning for the protection of the environment and public health.

The investigation has been performed at the Frank Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2009

ВВЕДЕНИЕ

Метод мхов и лишайников — биомониторинг, уже более 30 лет успешно применяемый в европейских странах для изучения атмосферных выпадений тяжелых металлов и других токсичных элементов, был впервые использован в 2005 г. для изучения качества воздуха в столице Монголии Улан-Баторе [1].

Работы проводились в рамках коллаборации с Лабораторией нейтронной физики им. И. М. Франка Объединенного института ядерных исследований (ЛНФ ОИЯИ, Дубна) с применением нейтронного активационного анализа на реакторе ИБР-2. Полученные результаты показали пригодность биомониторинга для оценки уровня атмосферных выпадений в условиях Монголии с использованием лишайника вида *Paltegera*, распространенного на исследуемой территории.

В дальнейшем эти работы были продолжены при изучении экологической ситуации в районе г. Эрдэнэт — второго по величине города Монголии, находящегося на территории с высокой индустриальной нагрузкой. Крупнейшее горно-обогатительное предприятие (ГОП) «Эрдэнэт», уже более 30 лет функционирующее на базе медно-молибденового месторождения «Эрдэнэтийн овоо», служит интенсивным источником тяжелых металлов и других токсичных элементов. Основными факторами влияния ГОП на окружающую среду являются выбросы из печи ТЭЦ, проведение взрывных работ (более чем 50 раз в год), а также накопление твердых отходов производства — отвалов пустых пород и некондиционных руд, содержащих повышенные концентрации тяжелых металлов [2]. Не менее значительными факторами являются жидкие неочищенные технологические стоки, которые размещаются в отстойниках и хранилищах, не имеющих гидроизоляционных экранов, в связи с чем вероятность попадания токсичных веществ в естественные воды рек и водоемов очень велика.

Как известно, Монголия является страной развитого скотоводства, и поэтому контроль состояния поверхностного слоя почвы и растительности здесь особенно важен, тем более для такого промышленного района, как территория вокруг г. Эрдэнэт и ГОП «Эрдэнэт».

Из всего вышеизложенного очевидна актуальность задачи, поставленной в данной работе, разработки комплекса методик мониторинга состояния окру-

жающей среды в районе г. Эрдэнэт и его окрестностях с использованием ядерно-физических аналитических методов.

Для контроля состояния воздуха использовались ранее апробированные лишайники-биомониторы *Paltegera*, для контроля состояния водных ресурсов отбирались пробы воды из речного ила из нескольких рек области, для контроля состояния сельскохозяйственных угодий — пробы поверхностных слоев почвы. Кроме того, впервые в качестве биоиндикаторов состояния почвы и растительности пастбищ были использованы внутренние органы (печень, почки, селезенка, легкие, сердце) пастбищных животных (коз и овец). В качестве аналитических методов для анализа элементного состава лишайников, почв и внутренних органов животных использовался инструментальный нейтронный активационный анализ, а для анализа водных образцов — рентгенофлуоресцентный анализ с полным внутренним отражением.

1. ИЗУЧАЕМАЯ ТЕРРИТОРИЯ

Добыча и переработка полезных ископаемых является одной из самых доходных отраслей современной Монголии, а сами полезные ископаемые — важнейшим национальным достоянием. Монголо-российское совместное предприятие «Эрдэнэт», работающее на севере Монголии более 35 лет, представляет собой один из крупнейших промышленных комплексов. Годовая переработка медно-молибденовых руд составляет в настоящее время 25,5 млн т, а изготавливаемых на экспорт концентратов — медных (30 % Cu) и молибденовых (50 % Mo) — 500 тыс. и 2 тыс. т соответственно. Кроме того, с 1995 г. начаты разработки открытого карьера методом выщелачивания серной кислотой из некондиционных руд для получения электролитической меди, а также развивается производство по переработке молибденовых концентратов.

Наиболее крупным населенным пунктом области является город Эрдэнэт — второй по величине индустриальный центр Монголии с населением более 100 тыс. человек. Пастбищные и сельскохозяйственные угодья расположены вокруг г. Эрдэнэт и занимают общую площадь около 100 км² (рис. 1).

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2.1. Пробоотбор. Расположение точек пробоотбора в районе г. Эрдэнэт показано на рис. 1.

Образцы лишайников (*Paltegera*) были собраны в летне-осенние периоды 2004–2005 гг. в трех точках вокруг г. Эрдэнэт:

- 1) Бугат, на западе от города;

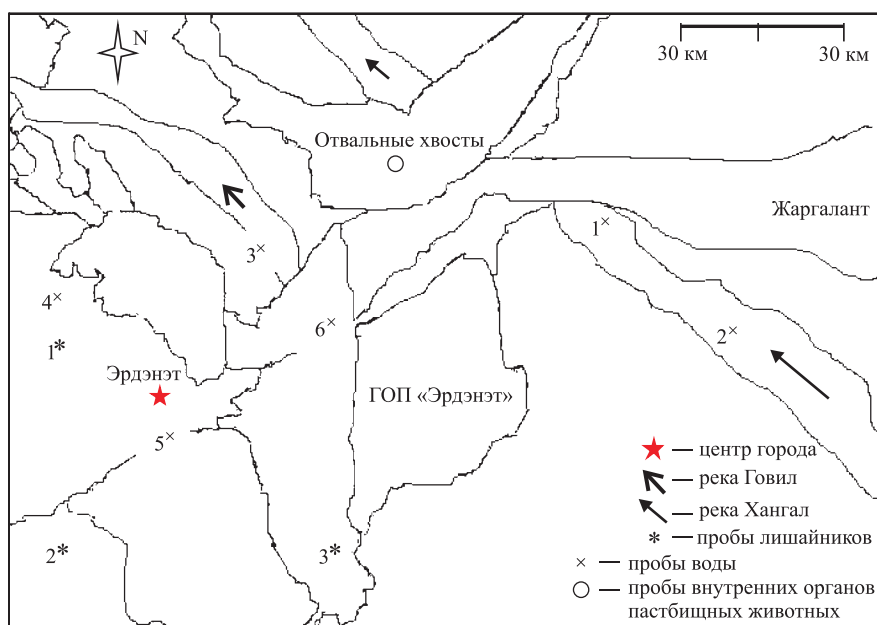


Рис. 1. Карта окрестностей ГОП «Эрдэнэт»

- 2) Баян-ундур, на западе от города;
- 3) Бурэнбуст, на юго-западе от ГОП «Эрдэнэт».

Отбор проб проводился в соответствии с международной методикой и принципами, описанными в работах [4, 5].

Пробы воды отбирались на основе гидрохимического опробования в летние периоды 1998–2000 гг. во время маршрутных исследований совместной монголо-российской биологической экспедиции в следующих точках:

- 1) река Хангал, 2 км от центра г. Эрдэнэт;
- 2) река Хангал, около поселка Улаан толгой;
- 3) технологическая вода ТЭЦ, г. Эрдэнэт;
- 4) питьевая вода, колодец;
- 5) водопроводная вода, гостиница «Сэлэнга»;
- 6) водопроводная вода, ТЭЦ, г. Эрдэнэт.

Образцы внутренних органов 6 пастбищных животных, коз и овец в возрасте 2–7 лет, были собраны на пастбищах, расположенных вблизи отвальных хвостов ГОП «Эрдэнэт».

Образцы проб почвы объемом (10 × 10 × 5) см собирались на ровной поверхности почвы в районе Жаргалант, г. Эрдэнэт.

2.2. Подготовка проб для анализа. Пробы лишайников, предназначенные для НАА, очищали от инородных растительных материалов, высушивали при комнатной температуре, а затем доводили до постоянного веса в сушильном шкафу при температуре 30 °С. Образцы массой 0,3–0,5 г упаковывали в полиэтиленовые пакетики для кратковременного облучения и в алюминиевую фольгу для длительного облучения.

Внутренние органы животных (печень, почки, легкие, селезенку и сердце), предназначенные для НАА, сжигали в зольной печи при температуре 105 °С в течение 4 ч, причем вначале температура медленно увеличивалась в течение 1,5 ч до 105 °С, а в конце озольнения уменьшалась до нулевого значения также в течение 1,5 ч [6].

Пробы воды готовились для РФА ПВО следующим образом:

- в образец воды объемом 1–2 мл добавляли 5 мкл стандартного раствора Ga с концентрацией 1 г/л;
- после тщательного встряхивания 5–10 мкл этой смеси помещали с помощью микропипетки на полированную поверхность кварцевого стекла, играющего роль второго отражателя;
- образец высушивали под инфракрасной лампой.

Пробы почвы и ила в лаборатории очищали от корней и других органических веществ и высушивали в сушильном шкафу в течение 2 сут.

2.3. Анализ. *ИНАА (инструментальный нейтронный активационный анализ).* Содержание элементов в лишайниках, почвах и зольных образцах внутренних органов определялось методом эпитеплового нейтронного активационного анализа (ЭНАА) на импульсном быстром реакторе ИБР-2 в ЛНФ ОИЯИ (Дубна) [5, 6]. Плотность потока тепловых нейтронов составляла $1,1 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$, а плотность потока эпитепловых нейтронов $1,4 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Температура в каналах облучения не превышала 60–70 °С [7]. Для определения долгоживущих радионуклидов (As, Cd, Ba, Br, Ce, Cs, Eu, Fe, Ni, La, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Th, U, Zn) образцы облучались в течение 100 ч, затем переупаковывались и измерялись трижды — после выдержки 5, 13 и 20 сут. Время измерения варьировалось от 1 до 3 ч.

Для определения короткоживущих радионуклидов образцы облучались 20 мин и измерялись после выдержки 5 и 20 мин в течение 8 и 20 мин соответственно. Измерения проводились с помощью полупроводникового детектора HPGe с разрешением 1,96 кэВ для гамма-линии 1332,4 кэВ ^{60}Co . Для контроля качества аналитических измерений использовались сертифицированные эталоны CRM 186.

Для обработки гамма-спектров и расчета концентраций элементов использовался пакет программ, разработанных в ЛНФ ОИЯИ [8].

РФА ПВО. Элементный состав водных образцов проводился на рентгенфлуоресцентном спектрометре с полным внутренним отражением [10]. Аппаратура РФА состояла из источника рентгеновского излучения с трубкой

с молибденовым анодом (ID-3000 SEIFERT, Германия), блока полного отражения (ATOMINSTITUT, Австрия), спектрометра рентгеновского излучения с Si(Li)-детектора (CANBERRA) и многоканального компьютерного анализатора (PCA-II 8000, NUCLEUS, США) [11]. Образцы измерялись в течение 100–200 с, и результаты измерений обрабатывались с помощью программы AXIL (QXAS) на персональном компьютере.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Минералогеохимический и генетический тип медно-молибденового месторождения «Эрдэнэтийн овоо» характеризуется специфическим соотношением содержаний основных элементов. Для таких месторождений это элементы I класса опасности — мышьяк, сурьма, цинк, свинец; II класса опасности — никель, кобальт, медь, хром, железо, марганец, ванадий, титан. Эти элементы должны быть дополнены другими, являющимися примесями в рудах, главным образом, рассеянными элементами — индием, селеном, теллуром, кадмием, германием. Большинство из перечисленных элементов являются опасными загрязняющими веществами, очень важными для экологической оценки.

Среди элементов, определенных методом ЭНАА в образцах лишайников, почвы, речного ила и органов пастбищных животных, можно условно выделить биогенные макроэлементы (Ca, Cl, K, Na, Mg), микроэлементы (Fe, Cu, Zn, Mn, Cr, Se, Mo, I, Co, V, Ni, As) элементы; не биогенные или другие элементы (Hg, Sb, Ba, Sr, Cs, Al, Rb, Ag, Au, Br, Sc, Co, In, La, W, Ta, Th, U) и некоторые редкоземельные элементы (Sm, Eu, Tb) [6, 9, 10]. В табл. 1 приведены значения концентраций 41 элемента, полученные методом ЭНАА. В крайних двух столбцах таблицы приведены данные по лишайникам Марокко (северо-запад Африки) из работы [15]. Сравнение этих данных с полученными результатами свидетельствует о превышении концентраций по целому ряду элементов (Ti, Mn, Co, Ni, Cu, As, Sr, Zr, Mo, Ba, Cs, La, Dy, W, Au).

С целью оценки степени превышения концентраций элементов в лишайниках, собранных в районе города Эрдэнэт и ГОП, проводилось сравнение с аналогичными данными для 35 элементов, полученными для лишайников того же вида (*Paltegera*), собранных в районе Улаан Тайги (Хубсгул), который можно считать чистой, т. н. фоновой областью (табл. 2).

Из таблицы видно, что содержание элементов в лишайниках исследуемого района от 0,15–182 раз превышает значения, полученные для фоновой зоны Улаан тайга. Причем концентрации некоторых элементов (Mg, Cl, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, As, Zr, Ba, Au, Th) превышают аналогичные значения для фоновой зоны в 10 и более раз. Диаграмма, показанная на рис. 2,

свидетельствует о корреляции в поведении металлов в образцах лишайников-биомониторов в окрестностях г. Эрдэнэт, что говорит о едином источнике их происхождения — ГОП «Эрдэнэт».

Результаты ЭНАА образцов почвы, отобранных в районе Жаргалант, и речного ила, отобранных в нескольких реках изучаемой области, приведены в табл. 3. Из таблицы видно, что содержание таких элементов, как Cr, Ti, V, Cu, As, Se и Sb, довольно высоко, и их значения целесообразно сопоставить с другими данными (табл. 4). Это сопоставление показывает, что среднее содержание в почве окружающей среды района ГОП «Эрдэнэт» таких металлов, как Cu, As, V, W, Sr, превышает значения ПДК для Монголии и кларковые значения для земной коры. Факторы обогащения образцов почв и речного ила исследуемого района некоторыми металлами даны в табл. 5.

Результаты анализа водных образцов, полученные методом рентгеновской флуоресценции с полным внутренним отражением, показаны в табл. 6. Как видно из таблицы, концентрации некоторых металлов, таких как Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Br, Sr и Pb, в речной воде исследуемой области превышают уровень ПДК, принятый для Монголии. В технологических стоках ТЭЦ к этому перечню добавляется и Mn.

В пробах колодезной воды наблюдается превышение концентраций Ti, Cu, Fe, As, Br, Sr, а в пробах водопроводной воды к этому перечню добавляется Zn. Таким образом, можно сделать заключение о присутствии группы токсичных элементов во всех водных образцах и о том, что источником этих загрязнителей является ГОП «Эрдэнэт».

Результаты НАА образцов внутренних органов пастбищных животных (коз и овец) приведены в табл. 7. Эти результаты носят предварительный характер, поскольку исследовались ткани органов лишь пяти животных. Однако по сравнению с другими исследованиями подобного характера [16–20], где определялось, как правило, лишь несколько элементов, они дают значения концентраций 37 элементов и поэтому более информативны. Проводить сравнение данных, полученных для овец и коз, с данными для других животных, например, крупного рогатого скота или свиней, не представляется целесообразным. Тем не менее результаты по Zn, приведенные в работе [19] для печени и почек овец с пастбищ Казахстана, подверженных воздействию металлургического производства, довольно хорошо совпадают с нашими данными.

Удовлетворительное совпадение получено и с данными по Cu, Zn, Fe и Mn работы [20], где приводятся средние геометрические величины результатов и ожидаемые пределы возможных значений.

В исследованных образцах высоко содержание Fe по сравнению с данными работы [20], а также As и Se по сравнению с данными работы [17]. Происхождение этих элементов связано с влиянием отвалов ГОП «Эрдэнэт» на пастбища, расположенные поблизости от них.

Выполненные исследования показали пригодность метода биомониторинга атмосферных выпадений тяжелых металлов с помощью лишайников вида *Paltegera* и НАА для оценки уровня загрязнений в районе с повышенной техногенной нагрузкой. Результаты анализа образцов почв, ила и воды, а также внутренних органов пастбищных животных дают дополнительную информацию и свидетельствуют о степени влияния ГОП «Эрдэнэт» на прилегающие территории.

Все эти данные могут служить основой для соответствующих мероприятий по охране окружающей среды и здоровья населения г. Эрдэнэт.

Таблица 1. Концентрации элементов в образцах лишайников-биомониторов (*Paltegera*), собранных в окрестностях г. Эрдэнэт в 2005 г. и в Марокко, мг/кг

Элемент	Юго-восток, Бугат № 1	Юго-запад, Буренбуст № 2	Юго-запад, Буренбуст № 5	Север, Баянундур (Хус) № 1	Север Баянундур № 4	Диапазон изменения	Среднее содержание	[15]	
								k ₀ -NAA	ED-XRF
Na	6070	2250	1555	1320	598	598–6070	2358	639	—
Mg	50400	28500	12000	17900	15400	12000–50400	24840		—
Al	23500	8490	4370	5660	4680	4370–23500	9340	9150	13100
Cl	308	307	482	152	1070	152–1070	464	1220	1180
K	14500	11900	6810	8840	6070	6070–14500	9624	5140	6220
Sc	4,0	1,8	1,7	0,96	0,41	0,41–4,0	1,77	1,74	—
Ca	7100	7010	11900	5490	17400	5490–11900	9780	23200	33600
Cr	15,0	6,4	7,0	3,0	5,8	3,0–15,0	7,4	16	—
Ti	2020	741	434	508	521	434–2020	845	648	502
V	40,7	13,4	7,46	9,9	8,74	7,46–40,7	16,0	37	54
Mn	927	407	170	141	308	141–927	390	161	158
Fe	9850	4510	4010	2350	1610	1610–9850	4466	5840	4880
Co	6,45	2,50	2,54	1,09	0,64	0,64–6,45	2,65	1,84	—
Ni	6,0	2,7	2,0	1,7	1,2	1,2–6,0	2,72	—	9,1

Продолжение таблицы 1

Элемент	Юго-восток, Бугат № 1	Юго-запад, Буренбуст № 2	Юго-запад, Буренбуст № 5	Север, Баянундур (Хус) № 1	Север Баянундур № 4	Диапазон изменения	Среднее содержание	[15]	
								k ₀ -NAA	ED-XRF
Cu	712	142	65,2	53,2	60,7	53,2–712	206,6	—	28,6
Zn	42,8	32,4	55,3	46,6	22,9	22,9–46,6	40	92,7	84,2
Se	0,32	0,08	0,23	0,03	0,19	0,03–0,32	0,17	—	—
As	7,62	3,46	4,29	2,06	2,01	2,01–7,62	3,9	2,84	—
Br	4,05	5,64	7,07	5,44	6,14	4,05–7,07	5,67	21,8	19,1
Sr	195	155	75,4	81,4	67,4	67,4–195	114,8	< 29, 2	22,8
Rb	37,1	16,4	16,3	11,4	3,89	3,89–37,1	17,0	24,3	19,7
Zr	172	98,7	62,4	36,0	43,1	36,0–172	82,4	78,0	28,6
Mo	21,6	7,73	6,67	4,30	2,07	2,07–21,6	8,48	1,48	—
In	0,014	0,029	0,034	0,022	0,055	0,014–0,055	0,03	—	—
I	4,9	7,8	6,1	4,0	7,5	4,0–7,8	6,0	—	—
Sb	1,45	0,58	0,54	0,29	0,13	0,13–1,45	0,6	0,46	—
Ba	398	216	95	131	134	95–398	194,8	47,9	40,4
Cs	2,02	1,05	1,03	0,53	0,20	0,20–2,02	0,97	0,52	—
Ta	0,18	0,07	0,07	0,04	0,02	0,02–0,18	0,07	—	—
La	12,1	6,43	6,05	3,29	2,02	2,02–12,1	6,0	4,8	4,5
Ce	15,7	8,07	8,53	3,91	1,26	1,26–15,7	7,5	10,9	9,7
Sm	1,76	0,92	0,88	0,46	0,30	0,30–1,76	0,8	0,94	0,94
Lu	1,84	0,90	0,65	0,37	0,18	0,18–1,84	0,79	—	—
Gd	55,6	23,9	22,3	10,5	6,64	6,64–55,6	23,7	—	—
Tb	0,24	0,11	0,14	0,06	0,04	0,04–0,24	0,2	—	—

Продолжение таблицы 1

Элемент	Юго-восток, Бугат № 1	Юго-запад, Буренбуст № 2	Юго-запад, Буренбуст № 5	Север, Баянундур (Хус) № 1	Север Баянундур № 4	Диапазон изменения	Среднее содержание	[15]	
								k ₀ -NAA	ED-XRF
Dy	2,5	2,0	1,0	0,95	0,91	0,91–2,5	1,5	0,77	—
Hf	1,82	0,55	0,54	0,28	0,26	0,26–1,82	0,7	—	—
W	0,46	0,16	0,18	0,11	0,08	0,08–0,46	0,2	0,11	—
Au	0,044	0,087	0,029	0,084	0,064	0,029–0,087	0,06	0,003	—
Th	2,64	1,45	1,36	0,73	0,27	0,27–2,64	1,3	1,02	—
U	0,067	0,035	0,032	0,020	0,011	0,011–0,067	0,03	0,40	—

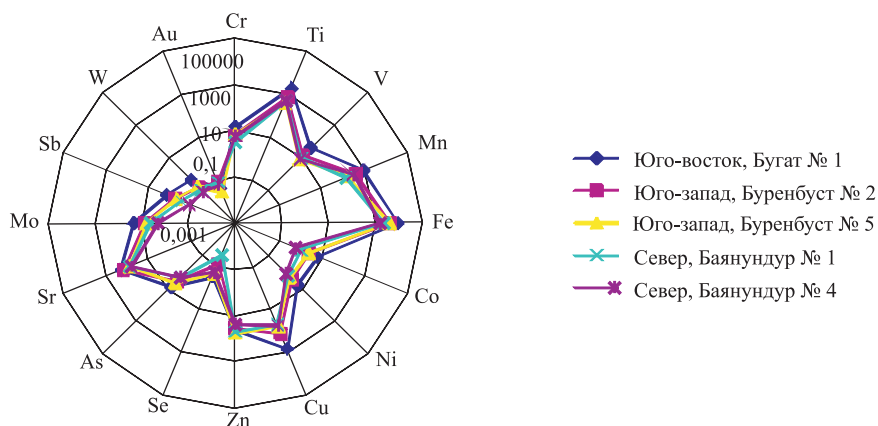


Рис. 2. Сравнение концентраций тяжелых металлов в образцах лишайников биомониторов (*Paltegera*) в окрестностях г. Эрдэнэт

Таблица 2. Отношение концентраций элементов в образцах лишайников (*Paltegera*), собранных в окрестностях г. Эрдэнэт в 2005 г. (1–3), к фоновым концентрациям (Улаан Тайга, Хубсгул) в 2003 г., мг/кг

Элемент	Среднее содержание элементов				Отношение содержания элементов		
	Юго-восток, Бугат	Запад-восток, Буренбуст	Север, Баянундур	Улаан Тайга (Хубсгул)			
	1	2	3	фон	1/ фон	2/ фон	3/ фон
Na	6070	2250	1320	196	30,89	11,45	6,718
Mg	50400	28500	17900	466	108,04	61,09	38,371
Al	23500	8490	5660	1251	18,78	6,79	4,524
Cl	308	307	152	1,7	182,25	181,66	89,941
K	14500	11900	8840	2103	6,89	5,66	4,204
Ca	7100	7010	5490	78,2	90,79	89,64	70,205
Sc	4	0,96	0,96	0,24	16,81	4,03	4,034
Ti	2020	741	508	50	40,40	14,82	10,160
V	40,7	13,4	9,9	3,68	11,06	3,64	2,690
Cr	15	6,4	3	1,34	11,19	4,78	2,239
Mn	927	407	141	26	36,07	15,84	5,486
Fe	9850	4510	2350	519	18,98	8,69	4,528
Co	6,45	2,5	1,09	0,28	23,04	8,93	3,893
Ni	6	2,7	1,7	0,85	7,06	3,18	2,000
Cu	712	142	53,2	6,3	113,02	22,54	8,444
Zn	42,8	32,4	46,6	12,9	3,32	2,51	3,612
As	7,62	3,46	2,06	0,35	21,77	9,89	5,886
Se	0,32	0,08	0,03	0,11	2,91	0,73	0,273
Br	4,05	5,64	5,44	0,55	7,36	10,25	9,891
Rb	37,1	16,4	11,4	5,74	6,46	2,86	1,986
Sr	195	155	81,4	5,96	32,72	26,01	13,658
Zr	172	98,7	36	1,69	101,78	58,40	21,302
Mo	21,6	7,73	4,3	0,28	77,14	27,61	15,357
Sb	1,45	0,58	0,29	0,048	30,21	12,08	6,042
Cs	2,02	1,05	0,53	0,45	4,49	2,33	1,178
Ba	398	216	131	8,45	47,10	25,56	15,503
La	12,1	6,43	3,29	0,69	17,54	9,32	4,768
Ce	15,7	8,07	3,91	1,62	9,69	4,98	2,414
Sm	1,76	0,92	0,46	0,13	13,54	7,08	3,538
Tb	0,24	0,11	0,06	0,014	17,14	7,86	4,286
Ta	0,18	0,07	0,04	0,016	11,25	4,38	2,500
W	0,46	0,16	0,11	0,515	0,89	0,31	0,214
Au	0,044	0,087	0,084	0,0025	17,60	34,80	33,600

Продолжение таблицы 2

Элемент	Среднее содержание элементов				Отношение содержания элементов		
	Юго-восток, Бугат	Запад-восток, Буренбуст	Север, Баянундур	Улаан Тайга (Хубсгул)			
	1	2	3	фон	1/ фон	2/ фон	3/ фон
Th	2,64	1,45	0,73	0,202	13,07	7,18	3,614
U	0,067	0,035	0,02	0,13	0,52	0,27	0,154

Таблица 3. Концентрации элементов в некоторых образцах речных илов и почвы, собранных в 2005 г. в окрестностях г. Эрдэнэт, мг/кг

Элемент	Река Говил № 5	Река Хангал № 9	Река Хангал № 10	Почва Жаргалант № 6	Среднее содержание
Na	18000	28000	22400	14000	20600
Mg	31800	27400	29400	28900	29375
Al	75400	76700	68200	61600	70475
Cl	13,1	5,76	12,1	5,00	9,0
K	20900	23600	21600	19400	21375
Ca	99600	58200	53900	39500	62800
Sc	4,80	9,64	6,85	11,8	8,3
Ti	6510	7610	4260	5550	5982,5
V	143	165	98,6	120	131,6
Cr	32,5	56,1	37,7	58,1	46,1
Mn	900	831	611	839	795,3
Fe	12000	27100	19300	31500	22475
Co	5,90	9,48	8,76	13,0	9,3
Ni	13,5	15,4	13,9	20,7	15,9
Cu	1030	1510	1630	935	1276,3
Zn	24,9	50,0	52,8	82,7	52,6
As	8,3	19,1	16,1	9,5	13,25
Se	0,25	1,23	0,52	0,02	0,51
Br	9,54	4,86	2,68	7,02	6,03
Rb	27,7	51,1	42,9	68,3	47,5
Sr	176	385	351	371	320,7
Zr	111	330	197	312	237,5
Nb	8,01	22,4	14,7	16,7	15,45
Sb	0,414	1,85	2,70	1,18	1,54

Продолжение таблицы 3

Элемент	Река Говил № 5	Река Хангал № 9	Река Хангал № 10	Почва Жаргалант № 6	Среднее содержание
Cs	1,51	1,90	1,63	3,58	2,16
Ba	226	452	453	579	427,5
La	31,2	35,6	23,7	30,6	30,3
Ce	42,9	81,1	54,8	97,0	68
Nd	НВ	20,1	11,1	21,2	17,5
Sm	7,08	8,17	4,91	7,13	6,82
Eu	НВ	0,88	0,37	0,92	0,72
Tb	0,28	0,54	0,38	0,69	0,47
Dy	6,89	6,05	7,21	6,54	6,67
Tm	НВ	1,14	0,47	0,77	0,79
Hf	2,43	7,69	4,97	2,43	4,38
Ta	0,34	0,79	0,54	0,96	0,7
W	3,68	5,60	5,46	3,89	4,7
Th	5,11	7,60	5,42	12,50	7,7
U	4,82	5,63	3,64	4,52	4,65

Примечание: НВ не выявлено.

Таблица 4. Среднее содержание тяжелых металлов в почвах окружающей среды района ГОП «Эрдэнэт», мг/кг

Элементы	Почва Жаргалант	ПДК почв /Монголия/ [13]	Почва около Эрдэнэта 1974	[14]	Кларковые содержания [12]
Pb	—	20	65	10	16
Cd	—	0,9	—	0,5	0,13
Zn	82,7	40	21,6	50	83
As	9,5	5	—	5	1,7
Cu	935	30	95,5	20	47
Mo	—	2	7	2	1,1
Cr	58,1	80	—	200	83
Co	13,0	10	13,3	8	18
Ni	20,1	41	—	40	58
Ba	579	—	—	500	650
V	120	100	—	100	90
Sn	—	2	—	10	2,5
Mn	839	—	230–1150	850	1000
Fe	31500	—	—	38000	—
W	3,89	—	—	—	1,3
Sr	371	—	—	300	340

Таблица 5. Факторы обогащения некоторых тяжелых металлов в образцах речных илов и почвы, собранных в 2005 г. в окрестностях г. Эрдэнэт

Элемент	Среднее содержание в земной коре, % [2]	Река Говил	EF	Река Хангал	EF	Река Хангал	EF	Почва Жаргалант	EF	EF для Cu–Mo руд	EF для отвалных хвостов
Cu	0,0047	1030	91,31	1510	59,27	1630	89,84	935	31,58	288	45,4
As	0,0005	8,3	6,92	19,1	7,05	16,1	8,34	9,5	3,01	71	16
Sb	0,00005	0,41	3,41	1,85	6,82	2,70	13,99	1,18	3,74	82	233
Cr	0,0083	32,5	1,63	56,1	1,24	37,7	1,17	58,1	1,11	0,4	1,6
Fe	5	12000	1	27100	1	19300	1	31500	1	1	1
Co	0,002	5,90	1,22	9,48	0,87	8,76	1,13	13,0	1,03	1,3	2,1
Zn	0,0083	24,9	1,25	50,0	1,11	52,8	1,65	82,7	1,58	2,2	1,5

Примечание: EF — фактор обогащения. $EF = [C_X/C_{Fe}] : [C_{зем.кор}/C_{Fe}]$, где: C_X — концентрация X-элемента, C_{Fe} — концентрация железа, (Fe) $C_{зем.кор}$ — концентрация земной коры.

Таблица 6. Концентрация элементов в образцах воды, отобранных в окрестности ГОП «Эрдэнэт», и их ПДК

Элемент	Река Хангал, 2 км ниже от центра г. Эрдэнэт	Река Хангал, около поселка Улаан толгой	Технологическая вода ТЭЦ г. Эрдэнэт	Питьевая вода, колодец № 2	Водопроводная вода, гостиница Сэлэнга	Водопроводная вода, ТЭЦ, г. Эрдэнэт	ПДК воды /Монголия/
P, мг/г	5,45	4,51	6,45	3,34	1,25	0,97	0,05
S	45,45	34,25	69,25	29,25	7,58	3,52	
Cl	54,85	36,25	35,65	14,52	4,95	8,52	30
K	8,53	6,43	7,35	2,61	6,13	3,13	5,0
Ca	125	102	149	72	28,2	32,2	180
Ti, мкг/г	115	332	172	405	65	211	
Cr	159	72	96	85	61	66	50
Mn	67	92	408	25	26	21	100
Fe	1239	3760	1516	779	439	491	100
Ni	121	324	159	69	86	91	200
Cu	249	134	161	56	187	141	100
Zn	169	144	181	101	379	375	100

Продолжение таблицы 6

Элемент	Река Хангал, 2 км ниже от центра г. Эрдэнэт	Река Хангал, около поселка Улаан толгой	Технологическая вода ТЭЦ г. Эрдэнэт	Питьевая вода, колодец № 2	Водопроводная вода, гостиница Сэлэнга	Водопроводная вода, ТЭЦ, г. Эрдэнэт	ПДК воды /Монголия/
As	189	161	1965	50	55	61	–
Br	302	213	161	92	56	76	–
Sr	1799	1520	1040	561	251	278	–
Pb	326	298	369	139	153	161	234

Таблица 7. Среднее содержание элементов в образцах внутренних органов пастбищных животных (коз и овец)

Элемент	Легкое		Селезенка		Печень		Почка		Сердце*
	АС	ГС	АС	ГС	АС	ГС	АС	ГС	
Na, мг/кг	1342	1243,7	1257	1196,0	748	697,35	1919	1762,1	1596
Mg	712	668,71	941	763,83	495	458,54	916	793,05	693
Cl	802	351,83	983	794,43	270	156,6	1327	1188,7	946
K	3237	2732,9	3687	3217,2	1865	1575,4	4889	4671,9	2670
Ca	65	60,3	98	78,82	63	40,03	228	166,45	120
Al	39,66	21,89	21,28	17,41	11	7,88	32	30,71	15,82
Cr	1,17	0,57	0,60	0,4	0,32	0,16	0,50	0,43	0,101
Mn	1,34	0,86	0,98	0,87	0,80	0,58	1,04	0,95	1,792
Fe	1116	234,97	1177	557,74	216	95,92	711	650,95	200
Ni	0,44	0,26	0,25	0,14	0,15	0,053	0,36	0,25	0,2
Cu	14,03	5,16	7,97	4,29	9,39	2,763	3,88	3,17	26,32
Zn	24,72	19,4	26,64	23,15	19,79	12,95	27,09	26,74	15,96
Br	6,93	6,53	7,51	6,6	3,66	3,45	10,80	9,73	7,43
Sr	1,30	0,922	1,65	1	1,19	0,48	0,87	0,81	0,95
Rb	1,10	0,959	1,30	1,11	1,12	0,79	1,51	1,4	1,26
Mo	4,78	0,89	2,08	1,02	1,27	0,38	2,97	0,77	0,95
Ba	2,34	1,49	2,40	1,33	1,22	0,81	1,88	1,74	0,62
Sc, мкг/кг	6,14	2,67	4,25	2,65	1,45	0,74	2,83	2,51	2,87
V	23,57	17,11	32,80	27,47	18,92	12,53	57,66	50,29	28,14
Co	42,24	37,3	48,10	28,92	62,90	32,17	30,31	27,27	60
Se	21,44	17,03	19,84	9,14	19,35	7,56	24,94	16,7	24,08
As	32,22	7,33	10,11	6,02	12,45	6,22	13,90	9,89	0,7
Ag	280	125,43	744	141,79	153	51,66	411	161,12	129

Продолжение таблицы 7

Элемент	Легкое		Селезенка		Печень		Почка		Сердце*
	АС	ГС	АС	ГС	АС	ГС	АС	ГС	
In	1,68	1,34	1,21	1,08	1,75	1,72	2,04	1,92	0,7
Sb	4,52	4,26	5,30	4,28	5,00	3,57	5,48	5,23	6,16
I	162	137,2	187	90,41	157	145,63	206	114,39	206
Cs	6,36	5,749	6,48	4,61	5,51	3,46	5,88	5,67	13,86
La	23,80	13,45	13,95	10,16	13,61	6,41	23,68	21,86	5,6
Sm	1,74	0,99	0,91	0,8	0,52	0,26	1,32	1,2	0,56
Eu	0,71	0,61	0,52	0,438	0,55	0,21	1,00	0,57	0,21
Tb	0,77	0,31	0,80	0,47	0,27	0,12	0,51	0,42	0,21
Ta	0,42	0,22	0,19	0,13	0,23	0,11	0,26	0,14	0,14
W	5,66	5,26	12,31	7,28	2,87	2,78	3,46	3,19	4,9
Au	647	403,76	308	278,9	311	165,91	567	484,29	104
Hg	76,91	68,13	-	22,38	50,55	32,25	44,73	29,14	46
Th	5,45	2,98	3,17	2,53	1,63	0,92	3,49	3,03	1,96
U	2,90	0,002	1,70	0,0013	1,53	0,008	2,23	0,0014	0,56

Примечание: * — результат одного образца; АС — арифметическое среднее; ГС — геометрическое среднее.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ganbold G. et al.* Atmospheric Deposition of Trace Elements Around Ulan-Bator City Studied by Moss and Lichens Biomonitoring Technique and INAA. JINR Preprint E18-2005-113. Dubna, 2005.
2. *Mason B.* Principles of Geochemistry. N.Y., 1966.
3. *Gerbish Sh. et al.* Multielemental Photon Activation Analysis of Copper-Molybdenum Ores and its Products of Processing Using Microtron Bremstrahlung // J. Radioana. Nuc. Chem. 1993. V. 138, No. 2. P. 503–511.
4. *Frontasyeva M. V. et al.* Atmospheric Deposition of Heavy Metals in Northern Serbia and Bosnia-Herzegovina Studied by the Moss Biomonitoring, Neutron Activation Analysis and GIS Technology // J. Radioana. Nuc. Chem. 2004. V. 259, No. 1. P. 141–147.
5. *Sloof J. E., Wolterbeek B. Th.* Lichens as Biomonitors for Radiocaesium Following the Chernobyl Accident // J. Environ. Radioactivity. 1992. V. 16. P. 229–242.
6. *Ganbold G. et al.* Assessment of Hazardous Impact on the Pastured Animals of Non-Ferrous Industry in the Town of Erdenet, Mongolia. JINR Commun. E18-2006-176. Dubna, 2006.
7. *Frontasyeva M. V., Pavlov S. S.* Analytical Investigations at the IBR-2 Reactor in Dubna. JINR Preprint E14-2000-177. Dubna, 2000.

8. *Ostrovnaya T.M. et al.* Software for NAA on the Basis of Relative and Absolute Methods Nuclear Data Base, in Activation Analysis in Environment Protection. JINR, D14-93-325, Dubna, 1993. P. 319–326.
9. *Gerbish Sh., Baljinnyam N. et al.* Determination of Major and Minor Elements in Sediments of the Central and Northern Mongolian Rivers Using INAA. JINR Preprint E18-2008-120. Dubna, 2008.
10. *Wobrauschek P.* Total Reflection X-Ray Fluorescence Spectrometric Determination of Trace Elements in the Femtogram Region: a Survey // *J. Anal. Atomic Spectrometry*, 1998. V. 13. P. 333–337.
11. *Гэрбиш Ш., Балжинням Н. и др.* Исследование распределения биогенных элементов и некоторых тяжелых металлов в природных водах // Proc. of the Conference on X-Ray Analysis, September 29–30, 2006, Ulaanbaatar, Mongolia, P. 187–195.
12. Scientific Statement of the Chemical Institution in 1973–1975. Mongolian Scientific Academy, Ulaanbaatar, Mongolia, 1975.
13. *Dorj D.* The Concept about Soil and Its Pollution Ulaanbaatar, Mongolia, 2002.
14. *Vinogradov A.P.* The Geochemistry of Rare and Dispersed Chemical Elements in Soils, 2nd Ed., Consultants Bureau, Inc., N.Y. 1959.
15. *Senhou A. et al.* Comparison of 14 MeV-NAA, k_0 -NAA and ED-XRF for Air Pollution Bio-Monitoring // *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 2002. V. 253, №2. P. 247–252.
16. *Blanco-Penedo I. et al.* Influence of Copper Status on the Accumulation Toxic and Essential Metals in Cattle // *Environment International*. 2006. V. 32. P. 901–906.
17. *Nriagu J. et al.* Levels of As, Cd, Pb, Cu, Se and Zn in Bovine Kidneys and Livers in Jamaica // *Ecotox. and Environ. Safety*. 2009. V. 72. P. 564–571.
18. *Kopenekova B. et al.* Concentration of Some Heavy Metals in Cattle in the Vicinity of a Metallurgic Industry // *Vet. Arhiv*. 2002. V. 72. P. 259–267.
19. *Farmer Alma A. et al.* Concentrations of Cadmium, Lead and Zinc in Livestock Feed and Organs around a Metal Production Centre in Eastern Kazakhstan // *The Science of the Environ.* 2003. V. 257. P. 53–60.
20. *Miranda Marta, Lopez Marta et al.* Copper, Zinc, Iron and Manganese Accumulation in Cattle from Asturias (Northern Spain) // *Biological Trace Element Research*. 2006. V. 109. P. 135–143.

Получено 11 июня 2009 г.

Редактор *М. И. Зарубина*

Подписано в печать 22.07.2009.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,18. Уч.-изд. л. 1,43. Тираж 260 экз. Заказ № 56668.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@jinr.ru

www.jinr.ru/publish/