

УДК 504.064: 546.791: 502.55

Валяев А.М., магистр,
Коровин В.Ю., канд. хим. наук
(ИГТМ НАН Украины)

**ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА ПОВЕРХНОСТИ
ХРАНИЛИЩА УРАНОВОЙ РУДЫ «БАЗА С» И ХВОСТОХРАНИЛИЩА
«СУХАЧЕВСКОЕ»**

Валяев О.М., магистр,
Коровін В.Ю., канд. хім. наук
(ІГТМ НАН України)

**ОЦІНКА ВМІСТУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ НА ПОВЕРХНІ СХОВИЩА
УРАНОВОЇ РУДИ «БАЗА С» ТА ХВОСТОСХОВИЩА «СУХАЧІВСЬКЕ»**

Valyaev A.M., M.S. (Tech.)
Korovin V.Yu., Ph.D. (Chem.)
(IGTM NAS of Ukraine)

**EVALUATION OF HEAVY METAL CONTENT ON THE SURFACE OF
THE BAZA S URANIUM-ORE STORAGE SITE AND SUKHACHEVSKOYE
TAILINGS STORAGE SITE**

Аннотация. Целью работы было проведение оценки содержания тяжелых металлов и сопутствующих элементов на поверхности хранилища урановой руды «База С» и хвостохранилища «Сухачевское».

С использованием атомно-эмиссионного спектрометра с индуктивно-связанной плазмой IRIS Intrepid II определено содержание тяжелых металлов As; Cd; Pb; Se; Zn; В; Со; Cr; Cu; Ni; Sb; Al; Ва; Mn; Sr; V и сопутствующих элементов. Установлена корреляция между удельной активностью радионуклидов и концентрацией металлов в почве хранилища урановой руды «База С».

Ключевые слова: хвостохранилище отходов уранового производства, хранилище урановой руды, почва, тяжелые металлы, подвижная форма.

Хранилище урановой руды «База С» и хвостохранилище «Сухачевское» являются одними из объектов бывшего ПО «Приднепровский химический завод» (ПО «ПХЗ»), расположенными на территории Днепропетровской области [1, 2]. В рамках стратегии ЕС по приведению площадки ПО «ПХЗ» в безопасное состояние [3], вторая секция хвостохранилища «Сухачевское» рассматривается как площадка для складирования отходов реабилитационной деятельности. Предусмотрена очистка и рекультивация территории хранилища урановой руды «База С».

Учитывая, что перерабатываемое сырьё и отходы производства ПО «ПХЗ» являются источниками радиационной и химической опасности, изучение распределения и состояния как радиоактивных, так и химически токсичных веществ является актуальным.

В работе представлены результаты оценки содержания подвижных форм элементов I - III класса опасности As; Cd; Pb; Se; Zn; В; Co; Cr; Cu; Ni; Sb; Al; Ва; Mn; Sr; V и сопутствующих элементов Fe, К, Mg, Na, P, Be на поверхности хранилища урановой руды «База С» и хвостохранилища «Сухачевское», которые являются продолжением исследований по определению удельной активности природных и техногенных радионуклидов (U^{238} , Th^{230} , Ra^{226} , Pb^{210} , Th^{232} , K^{40} , Cs^{137}) в местах произрастания тестовых растений [4]. Всего было отобрано 20 проб верхнего слоя почвы (10 см) – 10 точек на хранилище урановой руды «База С» (рис. 1) и 10 точек по внутреннему контуру II секции хвостохранилища «Сухачевское» (рис. 2) по ДСТУ 7080:2009.



Рисунок 1 – Точки отбора проб на хранилище урановой руды «База С»

Географические координаты точек отбора определены с помощью навигатора Garmin-GPS 60 и приведены в [4]. Образцы почвы отбирали по методу конверта в виде средней смешанной пробы весом ~ 2 кг с участка 5×5 м². Пробы гомогенизировали, рассеивали на сите с размером ячейки 1 мм, отбирали аликвоту 100 г, доводили ее до воздушно-сухого состояния, определяли влажность и переносили подготовленную почву в герметичные емкости.

Для количественной оценки содержания подвижных форм элементов I-III классов опасности и сопутствующих элементов проводили их экстракцию 1% раствором HCl из образцов почвы (10 г) при соотношении Т:Ж = 1:10 и постоянном взбалтывании в течение трёх часов. Кислотную вытяжку через 24 часа

настаивания отделяли на фильтровальной бумаге «белая лента» с последующим ее анализом.



Рисунок 2 – Точки отбора проб на хвостохранилище «Сухачевское»

Концентрацию Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Sb, Se, Sr, V, Zn в кислотных вытяжках определяли на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно связанной плазмой IRIS Intrepid II (ДСТУ ISO 11885:2005) в ООО «Центр радиоэкологического мониторинга».

Содержание хрома и селена во всех отобранных пробах было ниже предела обнаружения при измерении данной жидкой пробы и составило $< 0,0036 \text{ мг/дм}^3$ для Cr и $< 0,01 \text{ мг/дм}^3$ для Se.

Хранилище урановой руды «База С»

Результаты измерения содержания подвижных форм элементов I-III классов опасности и сопутствующих элементов в почве хранилища урановой руды «База С» представлены в таблицах 1-2.

Для оценки степени ее загрязнения рассчитана кратность превышения (к) концентрации подвижных форм элементов над предельно допустимой (ПДК) и ориентировочно допустимой (ОДК) концентрацией (ГН 2.1.7.2041-06, ГН 2.1.7.2511-09) соответствующих валовых форм элементов.

Подвижная форма элементов, извлекаемая кислотой, является промежуточной по силе извлечения между валовым содержанием и подвижными формами, извлекаемыми ацетатно-аммонийным буфером, отражает возможность перехода элементов из одной формы в другую и косвенно характеризует антропогенную деятельность.

На рисунках 3-5 приведено распределение элементов по точкам отбора проб в почве хранилища урановой руды «База С».

Таблица 1 – Концентрация элементов I и II классов опасности

Проба	I класс опасности							
	As	k	Cd	k	Pb	k	Zn	k
Б01	43,8±2,10	21,9	1,19±0,51	2,38	72,2±3,60	2,3	144±7,20	2,62
Б02	3,47±0,21	1,74	0,29±0,06	0,58	7,06±0,35	0,22	16,4±0,80	0,30
Б03	2,85±0,17	1,43	0,40±0,07	0,80	9,33±0,47	0,29	23,9±1,20	0,43
Б04	1,28±0,08	0,64	0,20±0,06	0,40	5,32±0,27	0,17	13,4±0,70	0,24
Б05	4,47±0,27	2,24	0,53±0,09	1,06	10,0±0,50	0,31	88,7±4,40	1,61
Б06	21,2±1,10	10,6	3,41±0,18	6,82	4,47±0,22	0,14	152±4,60	2,76
Б07	18,1±1,00	9,05	4,49±0,22	8,98	2,16±0,11	0,07	197±9,80	3,58
Б08	22,6±1,20	11,3	0,81±0,10	1,62	22,1±1,10	0,69	46,3±2,30	0,84
Б09	0,94±0,42	0,47	0,16±0,05	0,32	5,49±0,27	0,17	12,8±0,70	0,23
Б10	1,25±0,08	0,63	0,21±0,06	0,42	9,68±0,48	0,30	22,1±1,10	0,40
Среднее, мг/кг	12,00±0,61		1,17±0,58		14,78±0,76		71,66±2,24	
ПДК (ОДК), мг/кг	2		(0,5)		32		(55)	
Проба	II класс опасности							
	B	Co	Cu	k	Ni	k		
Б01	5,88±0,29	6,22±0,24	11,9±0,60	0,36	16,2±1,10	0,81		
Б02	2,14±0,11	3,57±0,19	5,12±0,26	0,16	7,33±0,39	0,37		
Б03	3,81±0,23	3,33±0,17	3,69±0,19	0,11	7,07±0,37	0,35		
Б04	2,83±0,14	2,55±0,13	2,65±0,16	0,08	4,84±0,25	0,24		
Б05	3,30±0,17	4,24±0,21	4,51±0,23	0,14	9,42±0,48	0,47		
Б06	10,3±0,52	8,20±0,41	5,63±0,28	0,17	24,6±1,30	1,23		
Б07	15,2±0,76	10,2±0,50	13,3±0,70	0,40	31,7±1,70	1,59		
Б08	3,18±0,16	6,06±0,29	9,29±0,46	0,28	12,6±0,70	0,63		
Б09	2,58±0,13	2,76±0,13	3,23±0,18	0,10	5,27±0,26	0,26		
Б10	2,69±0,13	2,70±0,13	3,40±0,18	0,10	5,20±0,26	0,26		
Среднее, мг/кг	5,19±0,32		4,98±0,26		6,27±0,31		12,42±0,69	
ПДК (ОДК), мг/кг	-		-		(33)		(20)	

Таблица 2 – Концентрация элементов III класса опасности

Проба	Элемент							
	Al	Ba	Mn	k	Sr	V	k	
Б01	2406±122	28,8±1,4	520±27,0	0,52	447±22,0	9,84±0,46	0,10	
Б02	1853±93,0	60,0±3,00	267±14,0	0,27	100±5,00	6,20±0,31	0,06	
Б03	1922±96,0	61,0±3,10	329±15,0	0,33	155±8,00	6,06±0,30	0,06	
Б04	1517±77,0	53,5±2,60	244±13,0	0,24	68,0±3,30	4,82±0,24	0,05	
Б05	2061±100	66,7±3,40	294±15,0	0,29	272±14,0	7,64±0,38	0,08	
Б06	1063±52,0	13,2±0,70	307±16,0	0,31	578±29,0	11,6±0,60	0,12	
Б07	756±37,0	16,6±0,80	350±17,0	0,35	661±33,0	16,6±0,60	0,17	
Б08	2309±110	77,9±3,90	469±22,0	0,47	345±17,0	8,50±0,43	0,09	
Б09	1498±75,0	51,9±2,40	243±13,0	0,24	40,0±2,00	4,88±0,24	0,05	
Б10	1603±80,0	58,7±2,90	345±16,0	0,35	52,0±2,70	4,39±0,23	0,04	
Среднее, мг/кг	1699±87,0		48,8±2,26		337±15,2		272±13,9	
ПДК (ОДК), мг/кг	-		-		1000		-	
							100	

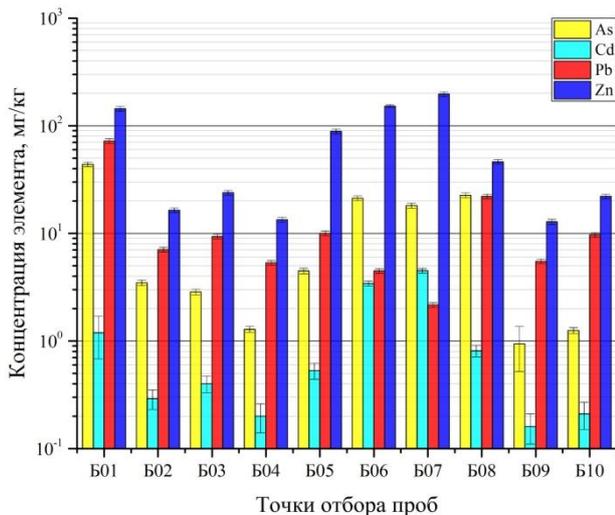


Рисунок 3 – Распределение элементов I класса опасности

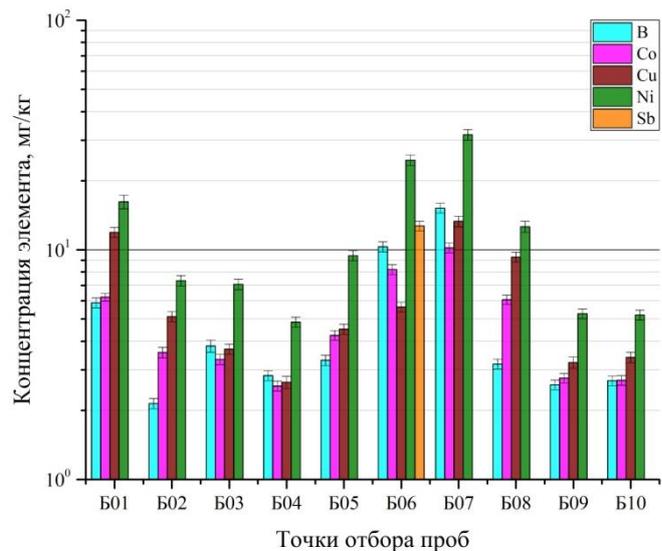


Рисунок 4 – Распределение элементов II класса опасности

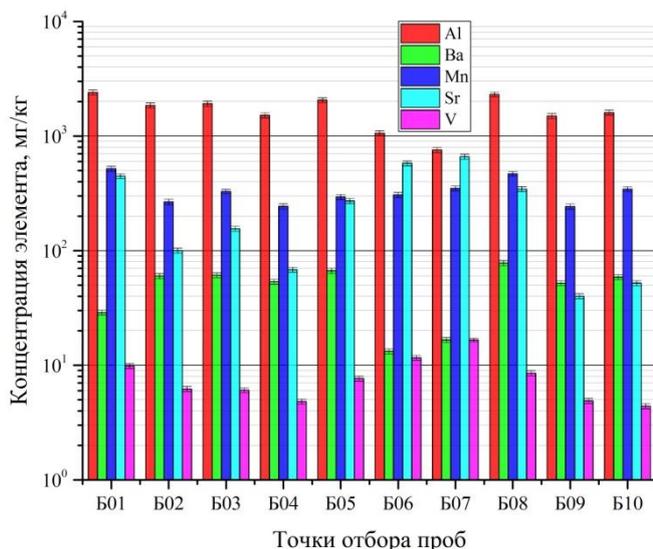


Рисунок 5 – Распределение элементов III класса опасности

Согласно полученным данным, концентрация элементов составила (мг/кг):

I класс опасности – As = 0,94÷43,8 (среднее $12,00 \pm 0,61$); Cd = 0,16÷4,49 (среднее $1,17 \pm 0,58$); Pb = 2,16÷72,2 (среднее $14,78 \pm 0,76$); Zn = 12,8÷197 (среднее $71,66 \pm 2,24$);

II класс опасности – B = 2,14÷15,2 (среднее $5,19 \pm 0,32$); Co = 2,55÷10,2 (среднее $4,98 \pm 0,26$); Cu = 2,65÷13,3 (среднее $6,27 \pm 0,31$); Ni = 4,84÷31,7 (среднее $12,42 \pm 0,69$); Sb = 12,7;

III класс опасности – Al = 756÷2406 (среднее $1699 \pm 87,0$); Ba = 13,2÷77,9 (среднее $48,8 \pm 2,26$);

Mn = 243÷520 (среднее $337 \pm 15,2$); Sr = 40÷661 (среднее $272 \pm 13,9$); V = 4,39÷16,6 (среднее $8,05 \pm 0,40$).

Максимальное превышение ПДК (ОДК) подвижных форм элементов наблюдается в точке B01 для As (21,9) и Pb (2,3), в точке B07 для Cd (8,98), Zn (8,57) и Ni (1,59). Сурьма обнаружена только в точке B06 с превышением ПДК (4,5 мг/кг) в 2,82 раза.

Содержание сопутствующих элементов представлено в таблице 3. Согласно полученным данным, концентрация сопутствующих элементов составила (мг/кг): Fe = 425÷2464 (среднее $1187 \pm 59,6$); K = 330÷652 (среднее $494 \pm 23,8$); Mg = 370÷720 (среднее $493 \pm 22,8$); Na = 93÷1370 (среднее $410,5 \pm 21,0$); P = 7300÷48840 (среднее 30449 ± 1498) и Be = 0,27÷1,36 (среднее $0,53 \pm 0,11$).

В точке B01 наблюдается корреляционная связь между содержанием Fe и

содержанием As, Mn и Mg с коэффициентом корреляции 0,935, 0,900 и 0,920 соответственно.

Таблица 3 – Концентрация сопутствующих элементов

Проба	Элемент					
	Fe	K	Mg	Na	P	Be
Б01	2464±120	634±32,0	720±36,0	505±26,0	34210±1710	0,48±0,10
Б02	882±44,0	340±16,0	442±23,0	116±7,80	30125±1500	0,35±0,07
Б03	874±44,0	652±33,0	493±23,0	152±8,10	39825±1990	0,38±0,07
Б04	425±21,0	477±22,0	408±21,0	100±7,30	21675±1080	0,27±0,06
Б05	1217±61,0	565±28,0	457±23,0	179±9,10	47525±2380	0,38±0,07
Б06	1379±69,0	370±18,0	564±28,0	1185±59,0	48840±2440	1,11±0,51
Б07	1450±73,0	557±28,0	435±22,0	1370±69,0	34500±1730	1,36±0,06
Б08	2066±100	531±27,0	657±33,0	308±15,0	32520±1630	0,42±0,08
Б09	474±23,0	479±23,0	380±19,0	97,0±7,30	7300±370,0	0,27±0,06
Б10	634±32,0	330±15,0	370±18,0	93,0±7,30	7970±400,0	0,28±0,06
Среднее, мг/кг	1187±59,6	494±23,8	493±22,8	410,5±21,0	30449±1498	0,53±0,11

Также обнаружена корреляционная связь между концентрацией подвижных форм ряда элементов и удельной активностью изотопа U^{238} (рис. 6). Распределение изотопа U^{238} в поверхностном слое почвы хранилища урановой руды «База С» изучено нами ранее [4].

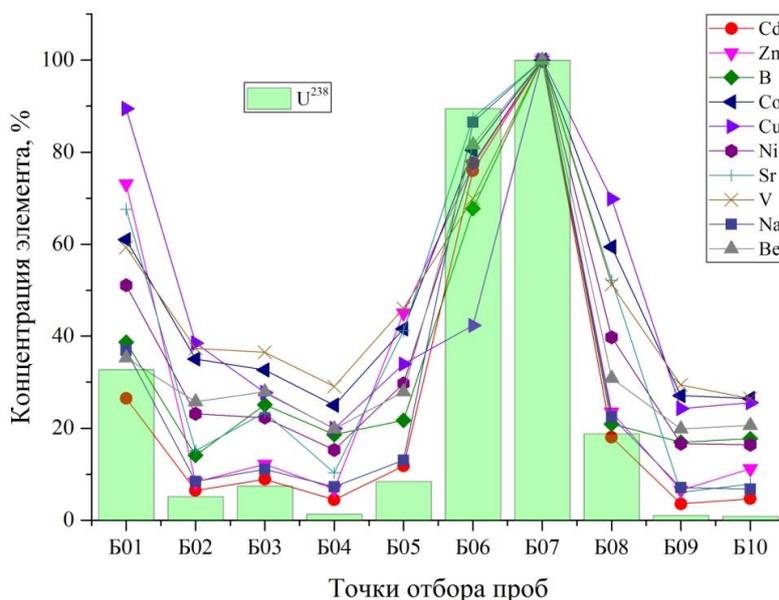


Рисунок 6 – Относительная концентрация элементов и удельная активность изотопа U^{238}

Численные значения коэффициента корреляции составляют: Na (0,999), Cd (0,993), Be (0,989), Ni (0,982), B (0,970), Co (0,952), V (0,938), Sr (0,926), Zn (0,901) и Cu (0,649), что свидетельствует о том, что часть указанных элементов входит в состав минералов урана с его изоморфным замещением. Высокая концентрация Fe и P позволяет предположить о принадлежности минералов урана

к редкоземельно-фосфор-урановому месторождению осадочного типа с костными остатками фауны (Меловое, Казахстан).

Хвостохранилище «Сухачевское»

Результаты измерения содержания подвижных форм элементов I-III классов опасности и сопутствующих элементов в почве хвостохранилища «Сухачевское» представлены в таблицах 4-7 (кроме тех, концентрация которых была ниже предела обнаружения при измерении данной жидкой пробы (мг/дм³): As<0,08, Cd<0,0005, B<0,0061, Cu<0,0046, V<0,01 и Be<0,0053).

Таблица 4 – Концентрация элементов I класса опасности

Проба	Элемент			
	Pb	k	Zn	k
C01	3,06±0,15	0,10	4,08±0,20	0,07
C02	2,71±0,13	0,08	2,79±0,13	0,05
C03	2,98±0,15	0,09	3,31±0,17	0,06
C04	2,90±0,15	0,09	3,58±0,17	0,07
C05	2,64±0,12	0,08	3,02±0,15	0,05
C06	2,94±0,15	0,09	4,29±0,21	0,08
C07	3,63±0,18	0,11	6,58±0,33	0,12
C08	8,17±0,41	0,26	5,24±0,27	0,10
C09	4,87±0,24	0,15	8,73±0,44	0,16
C10	4,77±0,23	0,15	8,96±0,45	0,16
Среднее, мг/кг	3,87±0,18		5,06±0,26	
ПДК (ОДК), мг/кг	32		(55)	

Таблица 5 – Концентрация элементов II класса опасности

Проба	Элемент				
	Co	Ni	k	Sb	k
C01	1,64±0,08	2,64±0,17	0,13	4,59±0,23	1,02
C02	1,74±0,09	2,70±0,18	0,14	5,14±0,26	1,14
C03	1,62±0,08	2,11±0,15	0,11	5,05±0,25	1,12
C04	1,32±0,06	1,81±0,13	0,09	4,64±0,23	1,03
C05	1,83±0,09	2,49±0,17	0,12	5,03±0,25	1,12
C06	1,70±0,09	2,30±0,16	0,12	5,90±0,29	1,31
C07	1,99±0,10	3,00±0,21	0,15	7,46±0,36	1,66
C08	0,31±0,06	0,45±0,11	0,02	5,82±0,29	1,29
C09	2,85±0,14	4,62±0,23	0,23	4,98±0,24	1,11
C10	2,67±0,13	5,20±0,26	0,26	4,39±0,22	0,98
Среднее, мг/кг	1,77±0,09	2,73±0,19		5,30±0,26	
ПДК (ОДК), мг/кг	-	(20)		4,5	

На рисунках 7-9 приведено распределение элементов по точкам отбора проб в почве хвостохранилища «Сухачевское».

Таблица 6 – Концентрация элементов III класса опасности

Проба	Элемент				
	Al	Ba	Mn	k	Sr
C01	1165±58,0	34,6±1,70	186±9,70	0,19	64,0±3,20
C02	1126±56,0	36,5±1,80	163±8,50	0,16	83,0±4,20
C03	716±36,0	31,0±1,60	156±8,10	0,16	90,0±4,50
C04	726±36,0	24,3±1,20	155±8,10	0,16	49,0±2,50
C05	1005±51,0	33,6±1,70	149±8,10	0,15	53,0±2,70
C06	1497±75,0	34,5±1,70	175±9,10	0,18	61,0±3,10
C07	2480±124	50,2±2,50	216±11,0	0,22	63,0±3,10
C08	1569±78,0	36,0±1,80	80,0±6,40	0,08	277±14,0
C09	1478±75,0	47,7±2,40	262±14,0	0,26	28,0±1,40
C10	1406±70,0	44,2±2,20	259±14,0	0,26	28,0±1,40
Среднее, мг/кг	1317±67,4	37,3±1,83	180±9,22		79,6±4,08
ПДК (ОДК), мг/кг	-	-	1000		-

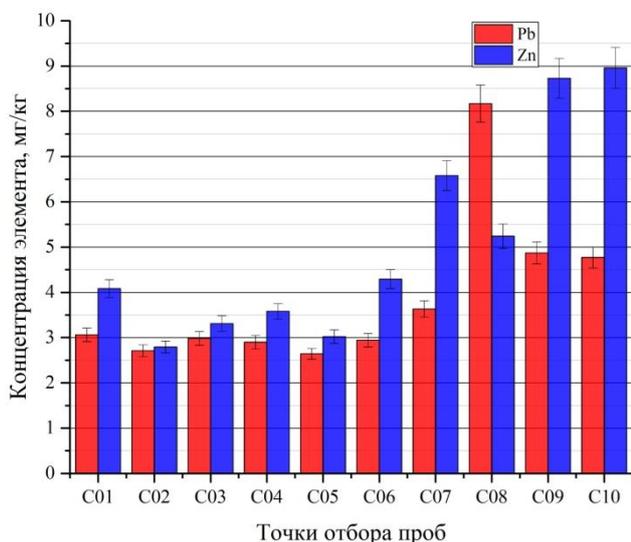


Рисунок 7 – Распределение элементов I класса опасности

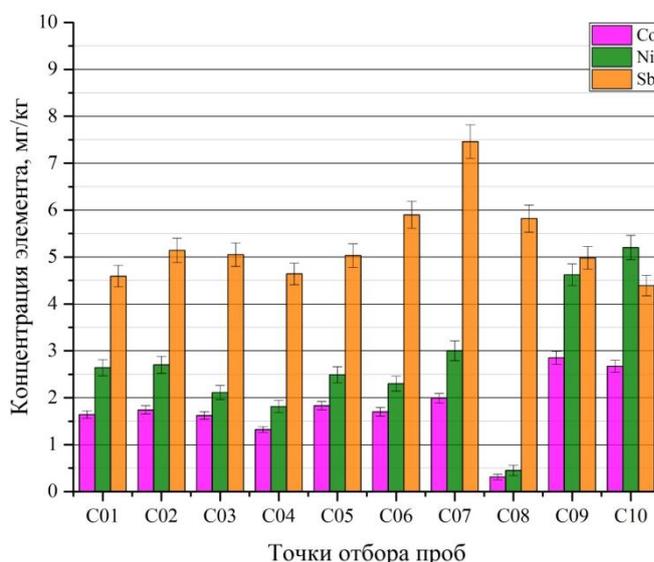


Рисунок 8 – Распределение элементов II класса опасности

Как видно из представленных данных, концентрация подвижных форм элементов составила (мг/кг):

I класс опасности – Pb = 2,64÷8,17 (среднее 3,87±0,18); Zn = 2,79÷8,96 (среднее 5,06±0,26);

II класс опасности – Co = 0,31÷2,85 (среднее 1,77±0,09); Ni = 0,45÷5,2 (среднее 2,73±0,19); Sb = 4,39÷7,46 (среднее 5,30±0,26);

III класс опасности – Al = 716÷2480 (среднее 1317±67,4); Ba = 24,3÷50,2 (среднее 37,3±1,83); Mn = 80÷262 (среднее 180±9,22); Sr = 28÷277 (среднее 79,6±4,08).

Ранее в работе [5] приведено среднее валовое содержание тяжелых металлов в почве хвостохранилища «Сухачевское», определенное методом атомно-абсорбционной спектроскопии (мг/кг):

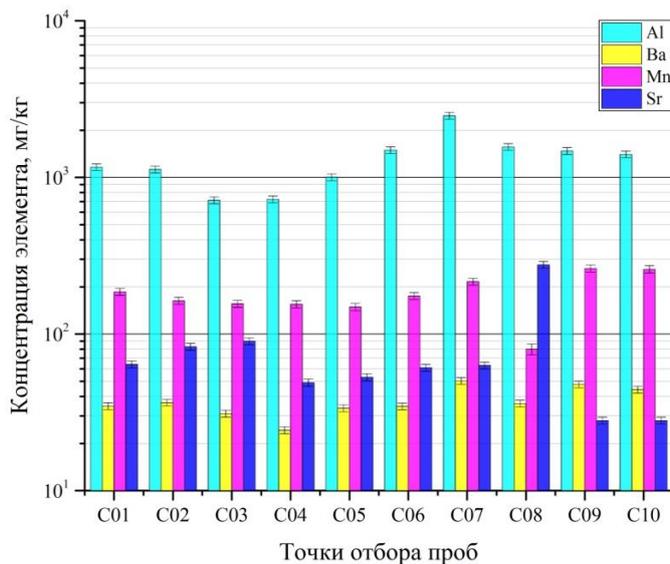


Рисунок 9 – Распределение элементов III класса опасности

I секция - Cu = 9,83±1,95;
Zn = 18,76±4,76; Mn = 428,17±98,19;
Cd = 0,06±0,19; Ni = 6,19±1,33;
Co = 0,48±0,14; Pb = 0,57±0,21;

II секция - Cu = 6,26±2,14;
Zn = 14,47±2,89; Mn = 251,78±97,66;
Cd = 0,04±0,016; Ni = 5,20±2,65;
Co = 0,49±0,22; Pb = 0,64±0,65.

Авторами было отмечено, что среднее валовое содержание тяжелых металлов в почве не превышает показателей ПДК. Полученные нами значения среднего содержания подвижных форм элементов сопоставимы с величинами среднего валового содержа-

ния элементов, измеренными в работе [5].

Содержание сопутствующих элементов представлено в таблице 7.

Таблица 7 – Концентрация сопутствующих элементов

Точка отбора пробы	Элемент				
	Fe	K	Mg	Na	P
C01	323±16,0	626±33,0	862±43,0	97,0±7,30	1545±77,0
C02	391±19,0	625±33,0	953±46,0	98,0±7,40	1804±90,0
C03	308±16,0	405±21,0	1028±52,0	102±7,30	2268±110
C04	398±19,0	523±27,0	986±49,0	93,0±7,30	2248±110
C05	286±14,0	937±47,0	781±38,0	100±7,30	2119±110
C06	393±19,0	701±35,0	1020±52,0	158±8,10	2322±120
C07	736±37,0	1031±52,0	904±45,0	196±11,0	2371±120
C08	790±39,0	702±35,0	722±36,0	198±11,0	2698±140
C09	533±27,0	1021±52,0	489±22,0	92,0±7,30	5560±280
C10	492±25,0	703±35,0	326±16,0	87,0±6,40	3293±170
Среднее, мг/кг	465±22,4	727±36,2	807±40,2	122±6,25	2622±134

Согласно полученным данным, концентрация сопутствующих элементов составила (мг/кг): Fe = 286÷790 (среднее 465±22,4); K = 405÷1031 (среднее 727±36,2); Mg = 326÷1028 (среднее 807±40,2); N = 87÷198 (среднее 122±6,25) и P = 1545÷5560 (среднее 2622±134).

Для хвостохранилища «Сухачевское» средняя концентрация подвижных форм практически всех элементов, кроме K и Mg, значительно ниже чем на хранилище урановой руды «База С». Среднее содержание Zn и P в почве хранилища «База С» на порядок больше чем на хвостохранилище «Сухачевское» в 14,17 и 11,61 раз соответственно, в то время как, превышение для остальных элементов составляет: Pb = 3,82; Co = 2,82; Ni = 4,55; Al = 1,29; Ba = 1,31;

Mn = 1,87; Sr = 3,41; Fe = 2,55; Na = 3,36.

На хвостохранилище «Сухачевское» наблюдается присутствие Sb с превышением ПДК во всех точках отбора проб, кроме С10, с максимальной концентрацией 7,46 мг/кг в точке С07, в то время как на хранилище урановой руды «База С» сурьма обнаружена только в точке Б06 с концентрацией $12,7 \pm 0,6$ мг/кг. Для выяснения источника Sb требуется проведение дополнительных исследований, в том числе и на прилегающей территории. В отличие от хранилища урановой руды «База С», на хвостохранилище «Сухачевское» не наблюдается превышения валовых ПДК (ОДК) над концентрациями в кислотных вытяжках по остальным элементам I и II классов опасности.

Выводы. Содержание подвижных форм элементов I-III классов опасности и сопутствующих элементов в почве хранилища урановой руды «База С» значительно превышает концентрацию на хвостохранилище «Сухачевское».

Обнаружена корреляционная связь между концентрацией подвижных форм Na, Cd, Be, Ni, B, Co, V, Sr, Zn, Cu и удельной активностью изотопа U^{238} .

Принимая во внимание, что рассматриваемые объекты подлежат приведению в безопасное состояние, необходимо проведение дополнительных исследований и регулярного мониторинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Problem of radioactive pollution as a result of uranium ores processing / V. Korovin, Y. Korovin, G. Laszkiewicz [et. al] // *Scientific and Technical Aspects of International Cooperation in Chernobyl: Collection of Scientific Articles* / Kiev, Vyscha shkola, 2001. – P. 461-469. - Available at: http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/34/023/34023916.pdf?r=1.

2. Radioactive contamination of city territory due to work of uranium-processing plant and the ways of its solution / V. Korovin, G. Shmatkov, Yu. Koshik [et. al] Proc. 10th International Symposium Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries, Stockholm, 19-21 June 2001. Amsterdam – London – New-York – Oxford – Paris – Shanon – Tokyo: Elsevier, 2001. – V. 2. – P. 1215 – 1223. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444506993500367>.

3. Войцехович, О. Приднепровский химический завод – масштабы бедствия и перспективы приведения площадки уранового наследия («ПХЗ») в безопасное состояние // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://uatom.org/index.php/ru/2016/12/12/prydneprovskiy-hymycheskyj-zavod-masshtaby-bedstvyu-u-perspektvyu-pryvedenyu-ploshhadky-uranovogo-nasledyya-phz-v-bezopasnoe-sostoyanye/>. – Загл. с экрана.

4. Валяев, А.М. Сравнение радиационного загрязнения почв с физиологическими параметрами развития тестовых растений на объектах Сухачевской промплощадки / А.М. Валяев, В.Ю. Коровин, Т.В. Лаврова // *Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр.* / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2016. – Вып. 129. – С. 242-255.

5. Анищенко, О.Л. Распределение валовых и подвижных форм тяжелых металлов в почвах, прилегающих к хвостохранилищу радиоактивных отходов / О.Л. Анищенко, Н.В. Тонкова, Л.М. Долгих [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://portal.tpu.ru:7777/science/konf/usovma/trud-9/section7.pdf>. – Загл. с экрана.

REFERENCES

1. Korovin, V., Korovin, Y., Laszkiewicz, G. et. al (2001), “Problem of radioactive pollution as a result of uranium ores processing”, *Scientific and Technical Aspects of International Cooperation in Chernobyl: Collection of Scientific Articles*, pp. 461-469, available at: http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/34/023/34023916.pdf?r=1, (Accessed 14 November 2016).

2. Korovin, V., Shmatkov, G., Koshik, Yu. et. al (2001), “Radioactive contamination of city territory due to work of uranium-processing plant and the ways of its solution”, Proc. 10th International Symposium Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries, Stockholm, 19-21 June 2001, Amsterdam –

London – New-York – Oxford – Paris – Shanon – Tokyo, Elsevier, vol. 2, pp. 1215 – 1223, available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444506993500367>, (Accessed 14 November 2016).

3. Voitsekhovych, O (2016), *Pridneprovsky khimicheskii zavod - masshtaby bedstviya i perspektivy privedeniya ploshchadki uranovogo naslediya ("PHZ") v bezopasnoe sostoyanie* [Pridneprovskiy chemical plant - the scale of contamination and the prospects for bringing uranium legacy sites ("PCP") to a safe condition], available at: <http://uatom.org/index.php/ru/2016/12/12/prydneprovskiy-hymicheskij-zavod-masshtaby-bedstviya-y-perspektyvy-pryvedeniya-ploshhadky-uranovogo-naslediya-phz-v-bezopasnoe-sostoyanye> (Accessed 14 November 2016).

4. Valyaev, A.M., Korovin, V.Yu. and Lavrova, T.V. (2016), "Comparison of the soil radioactive pollution with physiological parameters of the test plant morphosis at the facilities of Sukhachevka industrial site", *Geo-Technical Mechanics*, no. 129, pp. 242-255.

5. Anischenko, O.L., Tonkova, N.V. and Dolgikh, L.M. (2001), "Distribution of gross and movable forms of heavy metals in soils adjoining to the radioactive waste tailing site", available at: <http://portal.tpu.ru:7777/science/konf/usovma/trud-9/section7.pdf> (Accessed 9 November 2016).

Об авторах

Валяев Александр Михайлович, магистр, инженер в лаборатории новых технологий переработки сырья и промышленных отходов отдела механики эластомерных конструкций горных машин, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепр, Украина, alexandr.valyaev@gmail.com.

Коровин Вадим Юрьевич, кандидат химических наук, заведующий лабораторией новых технологий переработки сырья и промышленных отходов отдела механики эластомерных конструкций горных машин, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепр, Украина, sorbent2005@ukr.net.

About the authors

Valyaev Alexander Mikhailovich, Master of Sciences, (M.S.), Engineer of Laboratory of New Technologies for Raw and Industrial Waste Processing, Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepr, Ukraine, alexandr.valyaev@gmail.com.

Korovin Vadim Yurievich, Candidate of Chemical Sciences (Ph.D.), Head of Laboratory of New Technologies for Raw and Industrial Waste Processing, Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepr, Ukraine, sorbent2005@ukr.net.

Анотація. Метою роботи було проведення оцінки вмісту важких металів та супутніх елементів на поверхні сховища уранової руди «База С» та хвостосховища «Сухачівське».

З використанням атомно-емісійного спектрометра з індуктивно-зв'язаною плазмою IRIS Intrepid II визначено вміст важких металів As; Cd; Pb; Se; Zn; В; Co; Cr; Cu; Ni; Sb; Al; Ba; Mn; Sr; V та супутніх елементів. Встановлено кореляцію між питомою активністю радіонуклідів та концентрацією металів у ґрунті сховища уранової руди «База С».

Ключові слова: хвостосховище відходів уранового виробництва, сховище уранової руди, радіонукліди, ґрунт, важкі метали, рухома форма.

Abstract. Objective of the work is to assess content of heavy metals and accompanying elements on the surface of the Baza S uranium-ore storage site and Sukhachevskoye uranium tailings storage site.

With the help of IRIS Intrepid II ICP atomic-emission spectrometer, content of heavy metals As; Cd; Pb; Se; Zn; В; Co; Cr; Cu; Ni; Sb; Al; Ba; Mn; Sr; V and accompanying elements was measured. Correlation between radionuclide specific activity and metal concentration in soil of the Baza S uranium-ore storage site was established.

Keywords: uranium tailings storage site, uranium-ore storage site, radionuclides, soil, heavy metals, movable form.

Статья поступила в редакцию 12.12.2016

Рекомендовано к публикации д-ром технических наук Четвериком М.С.