

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

**СОДЕРЖАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ
И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
В ПОЧВАХ НЕКОТОРЫХ РАЙОНОВ КАЗАХСТАНА
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОРГАНИЧЕСКОГО СОСТАВА
И ТИПА ПОЧВЫ**

**TRACE ELEMENTS AND HEAVY METALS
IN SOILS OF SOME REGIONS
OF KAZAKHSTAN DEPENDING ON ORGANIC STRUCTURE
AND TYPE OF SOIL**

*С.М. Плешкова, К.О. Шарипов, А.А. Киргизбаева,
Ж.Т. Лебекова*

*S.M. Pleshkova, K.O. Sharipov, A.A. Kirgizbayeva,
Zh.T. Lebekova*

Казахский национальный медицинский университет им. С.Д. Асфендиярова
C.D. Asfendiyarov Kazakh National Medical University

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: микроэлементы, тяжелые металлы, типы почв, гумус.
KEYWORDS: trace elements, heavy metals, soil types, humus.

РЕЗЮМЕ. Исследован микроэлементный и органический (гумус), составы почв бывшего Семипалатинского испытательного ядерного полигона (СИЯП). Содержание микроэлементов в почвах на территории СИЯП сравнили с мировыми данными. Установлено, что микроэлементный состав почв на территории СИЯП по некоторым микроэлементам значительно отличался от мировых данных. Выявлена взаимосвязь микроэлементного состава почв с типом почвы. Результаты исследований составили научную основу для гигиенической оценки состояния экологической среды в регионе СИЯП и возможности введения земель полигона в землепользование.

ABSTRACT. Trace element and organic (humus) contents of soils of the former Semipalatinsk test nuclear polygon (STNP) were investigated. The content of trace elements in soils in the territory of STNP was compared to world data. It is established that the trace elements composition in STNP soils significantly differs from the world data for some elements. An interrelation of trace elements composition in soils with soil type is also established. Results of the research have made a scientific basis for hygienic assessment of the environmental conditions in the STNP region and the possibility to use these lands for economic needs.

ВВЕДЕНИЕ

Микроэлементы составляют ничтожную долю в почве, но они очень важны как элементы питания растений. В питании растений большую роль играют марганец, медь, цинк, молибден. Эти элементы необходимы для большинства биохимических процессов, протекающих в растительных и животных организмах. Положительное физиологическое действие микроэлементов проявляется в определенных малых концентрациях, их избыток или недостаток отрицательно сказывается на многих ферментативных процессах, в том числе может влиять на состояние здоровья человека.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Нами был исследован микроэлементный и органический составы проб почв, отобранных на территории бывшего Семипалатинского испытательного ядерного полигона (СИЯП, Казахстан). Объектами исследования явились почвы Абралинского района Восточно-Казахстанской области, прилегающего к Семипалатинскому испытательному ядерному полигону, и испытательных

площадок: горного массива Дегелен, Опытного поля и Атомного озера.

Дегелен – низкогорный массив, расположенный в восточной части Казахского мелкосопочника. Склоны покрыты степной растительностью. По долинам рек встречаются заросли кустарников. В горах Дегелен до 1991 г. располагалась испытательная площадка «Дегелен» СИЯП. Всего в период с 1961 по 1989 гг. в горах Дегелен было проведено 215 подземных ядерных взрывов.

Опытное поле – это первая испытательная площадка СИЯП, которая предназначалась для проведения атмосферных (наземных и воздушных) ядерных испытаний в период с 1949 по 1962 гг. Площадка представляет собой равнину диаметром 20 км, окруженную с трех сторон невысокими горами. Это крупномасштабный комплекс инженерно-строительных сооружений, предназначенных для проведения испытаний и регистраций параметров ядерного взрыва в условиях натурального эксперимента.

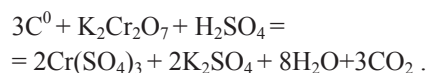
Атомное озеро возникло в результате экскавационного термоядерного взрыва мощностью 140 кт, в результате которого в месте слияния водных артерий рек Шаган и Ащису образовалась воронка, глубиной более 100 м и диаметром 400 м.

Было выбрано 47 точек отбора, в каждой из которых отбиралось по 4–5 образцов, итого всего было исследовано 225 образцов почв.

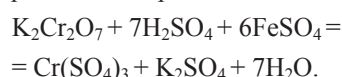
Образцы почвы отбирались с учетом вертикальной структуры, неоднородности покрова почвы, рельефа местности, а также с учетом особенностей, характера и степени радионуклидного загрязнения. Перед пробоотбором проводилась подготовка выбранного участка: удалялись растительность и камни. В намеченной точке пробоотбора выкапывался приямок, а затем грунт с заданной глубиной (15 см) и площадью вместе с дерниной извлекался монолитом при помощи специальной лопатки и упаковывался в полиэтиленовый пакет. Микроэлементный состав в почвах определялся на спектрографе ДФС-8 эмиссионным количественным методом. Методика предназначена для определения 28 элементов в горных породах, рудах, минералах, почвах, растениях. Сущность метода заключается в испарении анализируемой пробы вместе с буферной смесью из каналов двух угольных электродов в дуге переменного тока, регистрации на фотопластинке интенсивности спектральных линий и определения по ним содержания элементов. Анализ выполнялся по постоянным градуировочным графикам, построенным по образцам сравнения: стандартным образцам и приготовленным из них контрольным пробам (Научный совет по аналитическим методам (НСАМ), 1987).

При исследовании гумуса почвы, вначале определялся органический углерод методом мокрого сжигания по И.В. Тюрину (Бельчикова, 1965; Аринушкина, 1970). Этот метод основывается на

окислении углерода перегной почвы избытком бихромата по уравнению



Окисление происходит в сильноокислой среде и сопровождается восстановлением шестивалентного хрома в трехвалентный. Избыток бихромата в растворе после окисления перегной титруют раствором соли Мора:



Вычисленные значения органического углерода умножались на 1,724 и переводились в гумус, концентрация которого выражалась в процентах.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Некоторыми авторами отмечалось, что различные типы почв содержат неодинаковое количество микроэлементов, и более высокое их валовое содержание характерно для луговых и засоленных почв (Минеев и др., 2003). В исследованных образцах, отобранных на засоленных участках Абралинского района, нами не было установлено такой закономерности (табл. 1). Луговые почвы Атомного озера и Дегелена содержали наибольшие количества микроэлементов. Содержание микроэлементов в почвах Атомного озера высокое, так как его почвы практически не содержали органики. Отсутствие органической части почвы – это результат термоядерного взрыва, проведенного в районе Атомного озера, когда от очень высокой температуры произошло озоление почвы.

Анализируя табл. 1–3 можно сделать выводы, что минимальное содержание микроэлементов приходится на солончаки и темно-каштановые почвы, а максимальное – на светло-каштановые, лугово-каштановые и темно-каштановые почвы.

В темно-каштановых и светло-каштановых почвах Дегелена и светло-каштановых почвах Опытного поля наблюдалось наибольшее содержание свинца (32,6–39,1 мг/кг). Светло-каштановые почвы Атомного озера характеризовались наибольшим содержанием никеля и хрома (38 и 120 мг/кг соответственно). Лугово-каштановые почвы Атомного озера содержали наибольшие количества бария (660 мг/кг) и марганца (2285,7 мг/кг).

Среднее содержание гумуса в исследованных почвах СИЯП колебалось от 1,42–1,58% в светло-каштановых почвах и солончаках, до 13,6% – в темно-каштановых. Богаты гумусом почвы Абралинского района и Дегелена. В почвах Опытного поля гумуса содержится значительно меньше, чем в других почвах. Практически отсутствует гумус в почвах, взятых в районе Атомного озера. Это следствие открытых экскавационных взрывов, в результате которых произошло озоление почвы.

Таблица 1. Содержание микроэлементов в темно-каштановых почвах СИЯП, мг/кг

№ п/п	Микроэлементы	Абралинский район		Дегелен	
		<i>n</i>	$M \pm m$	<i>n</i>	$M \pm m$
1	Pb	14	21,0±5,3	16	36,8±10,21
2	Cu	14	12,5±2,1	16	16,6±3,69
3	Zn	14	50,0±17,79	16	66,6±17,06
4	Sc	14	26,25±16,3	16	7,0±1,21
5	Mo	14	1,75±0,75	16	6,83±3,32
6	Nb	14	7,0±1,68	16	10,3±4,74
7	Be	14	2,75±0,63	16	9,0±3,75
8	Ba	14	137,5±23,9	16	250,0±23,94
9	Ni	14	25,0±7,9	16	9,3±2,14
10	Cr	14	42,5±12,9	16	13,5±2,79
11	V	14	76,5±21,3	16	38,8±6,26
12	Y	14	21,0±4,3	16	32,6±7,38
13	Yb	14	6,5±4,52	16	3,3±0,80
14	Mn	14	512,5±173,6	16	621,6±165,8
15	Ga	14	18,25±6,62	16	24,3±3,85
Суммарное содержание			$\Sigma 64,3$		$\Sigma 76,0$

Таблица 2. Содержание микроэлементов в светло-каштановых почвах СИЯП, мг/кг

№ п/п	Микроэлементы, мг/кг	Абралинский район		Дегелен		Атомное озеро		Опытное поле	
		<i>n</i>	$M \pm m$	<i>n</i>	$M \pm m$	<i>n</i>	$M \pm m$	<i>n</i>	$M \pm m$
1	Pb	14	23,5±1,55	14	32,6±7,24	12	10,0±1,58	14	39,1±7,5
2	Cu	14	11,0±1,68	14	27,4±5,91	12	38,0±4,98	14	29,4±5,4
3	Zn	14	102,5±27,8	14	53,9±3(56)	12	58,0±2,46	14	52,7±10,2
4	Sc	14	26,75±3,61	14	9,14±0,73	12	18,0±0,89	14	10,1±2,0
5	Mo	14	4,0±0,91	14	2,64±1,36	12	2,0±0,45	14	2,5±1,36
6	Nb	14	10,5±0,5	14	7,14±1,24	12	5,0±0,12	14	7,14±1,24
7	Be	14	4,0±1,47	14	2,17±0,64	12	3,0±0,21	14	2,17±0,64
8.	Ba	14	275±62,9	14	261,4±12,26	12	760,0±150,6	14	250±50
9.	Ni	14	24,75±4,4	14	15,71±2,45	12	38,0±3,65	14	19±3,5
10	Cr	14	41,7±13,4	14	18,9±2,34	12	120,0±24,8	14	20±3,8
11	V	14	145,0±20,2	14	54,35±5,79	12	64,0±6,45	14	63,3±12,0
12	Y	14	23,5±2,53	14	18,64±2,98	12	19,0±2,4	14	12,5±2,5
13	Yb	14	2,5±0,28	14	1,78±0,28	12	2,0±0,21	14	1,36±0,02
14	Mn	14	937,5±37,5	14	1809,2±274,3	12	1600,0±230,0	14	2100±428
15	Ga	14	22,5±1,44	14	30,07±1,14	12	12,0±3,41	14	30,0±6,0
Суммарное содержание			$\Sigma 110,0$		$\Sigma 156,0$		$\Sigma 183,0$		$\Sigma 193,0$

Таблица 3. Содержание микроэлементов
в солончаке луговом и лугово-каштановых почвах* СИЯП, мг/кг

№ п/п	Микроэлементы	Абралинский район		Дегелен		Атомное озеро	
		<i>n</i>	<i>M ± m</i>	<i>n</i>	<i>M ± m</i>	<i>n</i>	<i>M ± m</i>
1	Pb	12	27,5±2,5	12	13,0±1,15	14	15,7±1,45
2	Cu	12	12,5±0,5	12	14,0±1,56	14	33,5±3,85
3	Zn	12	55,5±5,0	12	40,0±2,65	14	61,0±2,63
4	Sc	12	22,5±12,5	12	9,0±2,5	14	15,4±0,99
5	Mo	12	3,0±2,0	12	1,0±0,08	14	15,7±0,25
6	Nb	12	10,0±0,0	12	5,0±1,89	14	9,35±2,58
7	Be	12	2,5±0,5	12	1,0±0,07	14	1,85±0,34
8	Ba	12	250,0±50,0	12	350,0±48,6	14	660,7±44,40
9	Ni	12	87,5±62,5	12	17,0±2,56	14	33,7±1,63
10	Cr	12	27,5±2,5	12	13,0±2,31	14	94,0±10,03
11	V	12	135,0±35,0	12	64,0±1,45	14	62,7±2,95
12	Y	12	23,5±3,5	12	10,0±2,97	14	22,8±1,69
13	Yb	12	2,5±0,5	12	1,0±0,05	14	2,21±0,18
14	Mn	12	900,0±0,0	12	2100,0±58,9	14	2285,7±131,3
15	Ga	12	21,0±4,0	12	33,0±4,32	14	18,28±0,95
Суммарное содержание			∑98,0		∑179,0		∑222,0

П р и м е ч а н и е : * – лугово-каштановые почвы встречаются преимущественно в районе Атомного озера.

В почвах Дегелена нами было выявлена зависимость содержания тяжелых металлов от содержания гумуса в почвах (рисунок). Из рисунка видно, что с уменьшением гумуса содержание свинца возрастает. В отношении никеля наблюдалась обратная зависимость.

Влияние механического состава почв на валовое содержание металлов и микроэлементов можно увидеть на примере темно-каштановой почвы (табл. 4).

Из табл. 4 видно, что валовое содержание каждого металла с утяжелением механического состава резко возрастает. При переходе от супесчаных к среднесуглинистым почвам содержание свинца возрастает в 1,6 раз; меди – в 2,4 раза, хрома, берилия, марганца – в 3 раза, скандия – в 7,5 раза, титана и ванадия – в 4 раза, итербия – в 20 раз, иттрия – в 2,5 раза, галлия – в 11 раз.

На микроэлементный состав почвы влияет высокое содержание органических веществ. Сильная фиксация меди в почвах, богатых гумусом, приводит к повышению меди в кормах, которые становятся токсичными для крупного рогатого скота (Орлов, 1992).

По сравнению с литературными данными (Виноградов, 1957; Кабата Пендиас, Пендиас, 1989; Орлов и др., 2002; Добровольский, 2003; Водяницкий, 2008), почвы Семипалатинского региона

характеризуются низким валовым содержанием меди, цинка, кобальта и повышенным валовым содержанием марганца по сравнению с почвами других регионов (табл. 5).

Наши исследования (табл. 6) показали довольно высокие значения меди, цинка и марганца. Почвы Абралинского района содержали медь, цинк и марганец немного меньше по сравнению с почвами других регионов. В почвах горного массива Дегелен содержание меди приблизительно в 10 раз выше, чем в почвах других регионов, и ее содержание в 8,5 раз превышало ПДК, а содержание цинка и марганца отличались незначительно. Почвы Атомного озера и Опытного поля характеризовались очень высоким содержанием марганца и превышали аналогичные показатели в почвах других регионов в 2,5–5,5 раза. Содержание цинка в почвах Атомного озера и Опытного поля в 1,5 раза превышало содержание цинка в почвах других регионов. Содержание меди в почвах Атомного озера и Опытного поля превышало содержание меди в почвах других регионов в 1,7–1,8 раза и в 2–2,6 раза соответственно. В эпицентре взрыва в почвах Опытного поля и Дегелена содержалось больше свинца, чем в таких же почвах Абралинского района, что можно объяснить последствиями ядерных взрывов, проводившихся в этих районах.

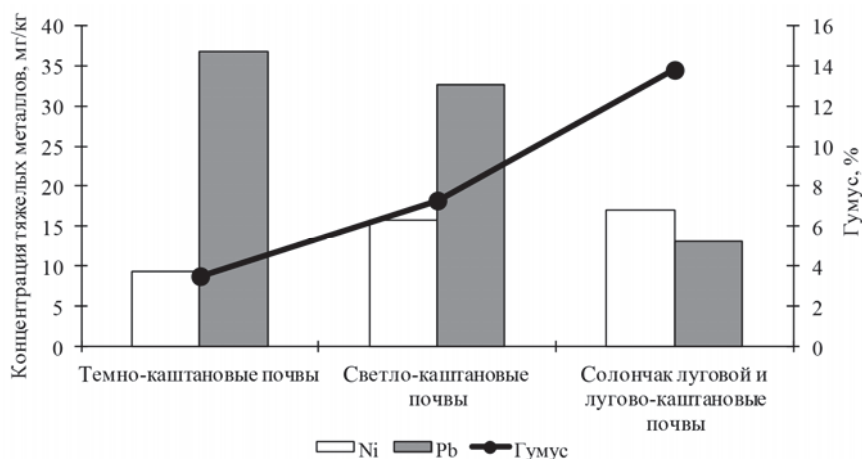


Рис. 1. Зависимость содержания некоторых тяжелых металлов от содержания гумуса в почвах Дегелена

Таблица 4. Валовое содержание металлов в темно-каштановой почве Абралинского района, мг/кг, в зависимости от механического состава почвы

Металлы	Механический состав почвы	
	Среднесуглинистый с пылевато-комковатой структурой	Супесчаный с непрочно-комковатой структурой
Pb	15,0±3,0*	9,0±1,4
Cu	17,0±2,5*	7,0±1,4
Mn	900,0±135,0*	300,0±45,0
Sc	75,0±11,2*	10,0±2,0
Be	3,0±0,6*	1,0±0,15
Ti	8000,0±1440*	2000,0±400,0
Cr	50±7,5*	15,0±3,0
V	80,0±15,0*	26,0±3,5
Yb	20,0±3,0*	1,0±0,15
Y	25,0±3,7*	10,0±2,0
Ga	35,0±7,0*	3,0±0,5
Ba	100,0±18,0	100,0±20,0

Примечание: * – достоверно различимые результаты.

Таблица 5. Содержание тяжелых металлов в почвах различных регионов, мг/кг

Регион	Cu	Zn	Mn	Co
Кларк в почве	20	50	850	8
Средняя полоса Восточного Казахстана	18,5	38,2	626,6	7,5
Казахстан в целом	18,9	39,5	450,0	7,1
Алтайский край	18,0	32,0	890,0	13,5
Юг Западной Сибири	33,8	72,3	720,0	
Почвы сухостепной, полупустынной зон	24,4	53,0	700,0	6,9
Территория бывшего Семипалатинского полигона	14,3	20,8	768,0	6,4

Таблица 6. Содержание тяжелых металлов в почвах
на территории бывшего Семипалатинского полигона, мг/кг

Регион	Cu	Zn	Mn	Pb
Абралинский район	12±2	12,7±2,5	890±170	24±4,6
Горный массив Дегелен	170±34	55±11	1100±200	27,4±5,4
Опытное поле	48,4±9,6	60±12	2500±500	39,1±7,8
Атомное озеро	34±7	61±12	2200±440	12,8±2,5
Предельно-допустимая концентрация	20	50	850	8

ЛИТЕРАТУРА

- Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Московского университета, 1970. С. 389–421.
- Бельчикова Н.П.* Определение гумуса почвы по методу И.В. Тюрина // Сб.: Агрохимические методы исследования почв. М.: Изд-во АН СССР, 1965.
- Виноградов А.П.* Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. С. 78–79.
- Водяницкий Ю.Н.* Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. М.: ГНУ; Почвенный институт им. Докучаева РАСХ, 2008. 85 с.
- Добровольский В.В.* Основы биогеохимии. М.: АCADEMIA, 2003. 397 с.
- Кабата Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. Пер. с англ. М., 1989. 439 с.
- Минеев В.Г., Анциферова Е.Ю., Большева Т.Н., Касатиков В.А.* Распределение Cd и Pb в профиле дерново-подзолистой почвы при длительном удобрении ее осадками сточных вод // Агрохимия. 2003. № 1. С. 45–50.
- Научный совет по аналитическим методам (НСАМ). Спектральные методы инструкции № 246-С. Автоматизированный эмиссионный количественный многокомпонентный спектральный анализ минерального сырья. Методы III и ГУ категории. М., 1987. С. 45–46.
- Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Лозановская И.Н.* Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. М.: Высшая школа, 2002. 334 с.
- Орлов Д.С.* Химия почв. М.: Изд-во МГУ, 1992. 400 с.
- Практикум по почвоведению / под. ред. И.С. Кауричева. М.: Колос, 1980.