

УДК 581.5

***ИССЛЕДОВАНИЕ МИГРАЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
НА ПРИМЕРЕ КАРТОФЕЛЯ (КЛУБНИ) И СОИ (ЗЕРНО)***

Переволоцкая Т.В.

к.б.н., доцент, старший научный сотрудник

Всероссийский научно-исследовательский

институт радиологии и агроэкологии,

Обнинск, Россия

Аннотация. Изучены закономерности процессов миграции ТМ представленных коэффициентами накопления Cu, Zn, Pb, Cd на примере картофеля (клубни) и сои (зерно), произрастающих на наиболее распространенных почвах в условиях умеренной климатической зоны. Показано, что фактор почвы оказывает существенное влияние на величину КН исследуемых элементов и определяет 30-34% вариации КН Cu, Zn, Cd и 85% вариации КН Pb по картофелю (клубни) и 79% вариации КН Zn по сое (зерно).

Ключевые слова: миграция, тяжелые металлы, коэффициенты накопления, сельскохозяйственное растение, компоненты, почва.

***RESEARCH OF MIGRATION OF HEAVY METALS
ON THE EXAMPLE OF POTATOES (TUBERS) AND SOYBEANS (GRAIN)***

Perevolotskaya T.V.

PhD in Biology, Associate professor, Senior Researcher,

Russian institute of radiology and agroecolog,

Obninsk, Russia

Annotation. The regularities of migration processes of heavy metals, represented by the coefficients of accumulation of Cu, Zn, Pb, Cd on the example of potatoes (tubers) and soybeans (grains), growing on the most common soils in the temperate climatic zone. It is shown that the soil factor has a significant effect on the coefficients of accumulation value of the studied elements and determines 30-34% variation of accumulation factors Cu, Zn, Cd and 85% variation of Pb in potato (tubers) and 79% variation of Zn in soy (grain).

Keywords: migration, heavy metals, accumulation coefficient, agricultural plant, components, soil.

Как свидетельствует опыт научных исследований, к числу наиболее опасных для природной среды химических загрязняющих веществ относятся тяжелые металлы (ТМ), по количеству и масштабу негативного воздействия которых приоритет в настоящее время принадлежит развитию современной промышленности [1; 2]. Поэтому изучение закономерностей поведения ТМ в агроэкосистемах особенно актуально, поскольку от качества производимых продуктов питания напрямую зависит здоровье человека [3-6]. Полученные новые знания о процессах миграции ТМ позволят осуществлять контроль их содержания в растительной продукции, возможность его регулирования, изучать зависимости этого содержания от биохимических условий среды в системе «почва-растение-животное-человек».

Методы исследования. Анализ миграции ТМ проводили на основе систематизации накопленных литературных данных [7], представленных КН Cu, Zn, Pb, Cd на примере картофеля (клубни) и сои (зерно), произрастающих в разрезе исследованных почв в условиях умеренной климатической зоны. Для исследования были применены методы статистического анализа: описательная статистика, индуктивная статистика, дисперсионный анализ [8].

Допущения, принятые при исследовании миграции ТМ Cu, Pb, Zn, Cd в диапазоне исследованных сельскохозяйственных растений и почв методами статистического анализа:

- принятый критический уровень значимости $p=0,05$;
- ТМ Cu, Zn, Pb, Cd относятся к числу приоритетных как для фонового мониторинга окружающей среды, так и экологических оценок территории;
- КН представляется отношением концентрации элемента в сухой массе растений к валовому (или общему) содержанию ТМ в почве (мг/кг сухого растения)/(мг/кг почвы). В качестве независимого показателя использовались массовые доли валового или общего содержания ТМ (Cu, Pb, Zn, Cd) в почвах;
- полученные результаты статистического анализа данных миграции ТМ в системе «почва – сельскохозяйственные растения» носят оценочный характер.

Результаты исследования. На предварительном этапе исследования выполнена проверка распределения КН Cu, Pb, Zn, Cd по картофелю (клубни), произрастающему на дерново-подзолистых (П^Д), дерново-глубокоподзоленных (П^Дглубокооп), дерново-слабоподзолистых (П^Дслабоподзол), слабоокультуренных дерново-подзолистых (П^Дслабоокульт), каштановых (К), серой лесной (Л) почвах, черноземе выщелоченном (Ч^В) и черноземе типичном (Ч^Т) и по сое (зерно), произрастающей на бурых лесных (Лб) и окультуренных бурых лесных почвах (Лб окульт) (таблица 1).

Проверка распределения КН Zn, Cu и Pb по картофелю (клубни), произрастающему на серой лесной (Л) почве свидетельствует о распределении, близкому к нормальному (таблица 1). В силу объема выборки вышеуказанных элементов ($n \geq 50$) применен критерий Колмогорова-Смирнова: К-С $d = 0,27906$, $p < 0,01$; К-С $d = 0,35217$, $p < 0,01$; К-С $d = 0,33826$, $p < 0,01$, соответственно. В большинстве своем сопоставление значений средних величин (среднего и медианы) КН Cu, Pb, Zn, Cd по картофелю (клубни), произрастающего на всех остальных исследованных почвах, свидетельствует о распределении близкому к нормальному (таблица 1). Вероятность данного

Дневник науки | www.dnevnika.ru | СМЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

предположения подтверждается критерием Шапиро-Уилка, рассчитанного для КН Zn, Cu и Pb по картофелю, произрастающего на каштановых почвах: КН Zn - $W=0,9442$, $p=0,5146$; Cu - $W=0,9909$, $p=0,9979$, а также и для всех остальных распределений средних величин КН с объемом выборок $n < 50$.

Проверка на нормальность распределения КН Cu, Pb, Zn, Cd по сое (зерно) позволяет выдвинуть гипотезу о распределении исследуемых элементов близкому к нормальному, что подтверждается сопоставимыми значениями средних величин: среднего и медианы (таблица 1) и критерием Шапиро-Уилка: КН Zn $W=0,9568$, $p=0,7587$ (Лб); $W=0,9726$, $p=0,9094$ (Лб окульт); КН Cu - $W=0,9206$, $p=0,5096$ (Лб окульт); КН Cd - $W=0,8347$ $p=0,1178$ (Лб окульт); КН Pb - $W=0,9552$, $p < 0,7822$ (Лб окульт). Наибольшие средние значения КН Zn ($1,3565 \pm 0,4055$) наблюдаются для сои (зерно), произрастающей на окультуренных бурых лесных почвах относительно бурых лесных ($0,2192 \pm 0,0278$). В разрезе КН Cu, Pb, Cd, представленных окультуренной бурой лесной почвой, можно отметить, что КН Pb ($0,0159 \pm 0,0011$) значительно ниже средних значений КН Cu и Cd, при этом наибольшие значения КН отмечаются по Cu ($0,8360 \pm 0,2180$) (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты статистического анализа распределения КН Cu, Pb, Zn, Cd по картофелю (клубни) и сое (зерно) в разрезе исследованных почв

Тип почвы	Среднее	Медиана	Стд.откл.	Нижняя квартиль	Верхняя квартиль	As	Ex
Вид сельскохозяйственной культуры: Картофель (клубни)							
коэффициент накопления Zn							
П ^Д	0,4479	0,3175	0,6423	0,0473	1,6824	1,431	0,226
П ^Д глубокооп	0,0046	0,0047	0,0030	0,0016	0,0076	-0,107	0
К	0,4940	0,4479	0,1650	0,3879	0,6025	0,303	-1,197
Л	0,0189	0,0109	0,0205	0,0091	0,0193	2,365	4,694
Ч ^В	0,0050	0,0053	0,0009	0,0046	0,0058	-1,051	0
Ч ^Г	0,1279	0,0757	0,1466	0,0447	0,2112	0,193	3,778
коэффициент накопления Cu							
П ^Д	2,2595	1,0435	2,9273	0,2170	2,1579	1,478	0,708
К	0,3250	0,3205	0,1259	0,2583	0,4167	0,009	0,034
Л	0,0110	0,0062	0,0127	0,0047	0,0085	2,385	5,096

ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ДНЕВНИК НАУКИ»

коэффициент накопления Cd							
П ^Д	0,0350	0,0360	0,0056	0,0340	0,0390	-1,304	1,683
П ^Д глубокооп	0,0135	0,0085	0,0110	0,0058	0,0261	1,621	0
П ^Д слабоокульт	0,0718	0,0586	0,0428	0,0437	0,1000	1,534	2,448
П ^Д слабоподзол	0,1464	0,1212	0,0907	0,0606	0,2424	0,443	-0,299
Л	0,1502	0,1516	0,0094	0,1516	0,1533	-1,441	3,063
Ч ^В	0,0198	0,0226	0,0064	0,0124	0,0244	-1,575	0
коэффициент накопления Pb							
П ^Д	0,0185	0,0180	0,0025	0,0166	0,0209	0,206	-1,768
П ^Д глубокооп	0,0007	0,0006	0,0004	0,0003	0,0012	0,735	0
П ^Д слабоокульт	0,0071	0,0071	0,0007	0,0067	0,0076	0	0
П ^Д слабоподзол.	0,1072	0,1049	0,0330	0,0790	0,1340	0,121	-0,991
К	0,0016	0,0013	0,0014	0,0007	0,0014	2,521	7,128
Л	0,0048	0,0022	0,0109	0,0006	0,0038	5,501	33,537
Ч ^В	0,0007	0,0007	0,0002	0,0006	0,0009	0,916	0
Вид сельскохозяйственной культуры: Соя (зерно)							
коэффициент накопления Zn							
Лб	0,2192	0,2154	0,0278	0,1973	0,2410	0,5837	-1,460
Лб окульт	1,3565	1,2799	0,4055	1,1386	1,7000	0,2423	-0,555
коэффициент накопления Cu							
Лб окульт	0,8360	0,8715	0,2180	0,6850	1,0182	-0,5500	-1,225
коэффициент накопления Cd							
Лб окульт	0,1720	0,1421	0,1760	0,0250	0,2000	1,5790	2,905
коэффициент накопления Pb							
Лб окульт	0,0159	0,0159	0,0011	0,0148	0,0166	0,0190	-1,598

С применением метода дисперсионного анализа проведена оценки степени влияния фактора почвы на КН Cu, Pb, Zn, Cd по картофелю (клубни) и сое (зерно) (таблица 2).

Таблица 2 – Оценка степени влияния фактора почвы на КН Cu, Pb, Zn, Cd по картофелю (клубни) и сое (зерно)

Источник дисперсии	Степени свободы	Сумма квадратов	Средний квадрат	Критерий Фишера	Уровень значимости	Сила влияния фактора, %
Вид сельскохозяйственной культуры: Картофель (клубни)						
коэффициент накопления Zn						
Тип почвы	5	6,7010	1,3402	19,178	<0,01	33
Ошибка	192	13,4171	0,0699			
Всего	197	20,1181				
коэффициент накопления Cu						
Тип почвы	2	108,2385	54,1192	48,3708	<0,01	34
Ошибка	184	205,8669	1,11884			

ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ДНЕВНИК НАУКИ»

Всего	186	314,1053				
коэффициент накопления Cd						
Тип почвы	5	0,14052	0,02810	4,6998	0,0013	31
Ошибка	52	0,31096	0,00598			
Всего	57	0,45148				
коэффициент накопления Pb						
Тип почвы	6	0,3621	0,0603	188,39	<0,01	85
Ошибка	197	0,0631	0,0003			
Всего	203	0,4252				
Вид сельскохозяйственной культуры: Соя (зерно)						
коэффициент накопления Zn						
Тип почвы	1	3,10443	3,10443	30,1262	<0,01	79
Ошибка	8	0,82438	0,10305			
Всего	9	3,92881				

Оценка степени влияния фактора почвы на КН Cu, Pb, Zn, Cd по картофелю (клубни) свидетельствует о значимом влиянии данного фактора на величину КН исследуемых элементов и определяет 30-34% вариации КН Cu, Zn, Cd и 85% вариации КН Pb (таблица 2).

Выявлено, что фактор почвы оказывает существенное влияние на КН Zn (F -критерий=30,1262, $p<0,01$) для сои (зерно), сила влияния данного фактора составляет 79%, различие средних величин КН Zn между исследованными типами почв достоверно ($p<0,01$) (таблица 2).

Заключение. Анализ миграции ТМ Cu, Pb, Zn, Cd в агроэкосистемах в разрезе исследованных сельскохозяйственных культур и почв позволил установить, что по картофелю (клубни):

– проверка распределения КН Zn, Cu и Pb по картофелю (клубни), произрастающему на Л типах почв свидетельствует о близком к нормальному, что подтверждается критерием Колмогорова-Смирнова $K-S d = 0,27906$, $p<0,01$; $K-S d = 0,35217$, $p<0,01$; $K-S d = 0,33826$, $p<0,01$, соответственно;

– сопоставимые значения среднего и медианы КН Cu, Pb, Zn, Cd свидетельствует о распределении близком к нормальному по картофелю (клубни), произрастающему на всех остальных исследованных почвах, критерий Шапиро-Уилка по картофелю, произрастающего на К: КН Zn -

$W=0,9442$, $p=0,5146$; $Cu - W=0,9909$, $p=0,9979$, а также равнозначен для всех остальных КН с объемом выборок $n<50$;

– распределение ТМ по значениям КН Cu , Pb , Zn , Cd по картофелю (клубни), в разрезе исследуемых типов почв, можно представить в виде убывающего ряда: П^Д : $Cu>Cd>Zn>Pb$; П^Дглубокооп - $Cu> Zn>Pb$; К - $Zn> Cu> Pb$; Л - $Cd>Zn >Cu> >Pb$; Ч^В - $Zn >Cd>Pb$;

– результаты дисперсионного анализа свидетельствуют о значимом влиянии, такого фактора как почва, на величину КН исследуемых элементов, определяющим 30-34% вариации КН Cu , Zn , Cd и 85% вариации КН Pb по картофелю (клубни).

По сое (зерно):

– согласно результатам проверки на нормальность КН Cu , Pb , Zn , Cd по сое (зерно) распределяются по закону, близкому к нормальному;

– наибольшие средние значения ($1,3565\pm 0,4055$) КН Zn по сое (зерно) наблюдаются на окультуренных бурых лесных почвах относительно Лб ($0,2192\pm 0,0278$);

– на окультуренных бурых лесных почвах можно отметить, что значительно ниже средние значения КН Pb ($0,0159\pm 0,0011$) наблюдаются относительно КН Cu и Cd , при этом наибольшие значения КН отмечаются по Cu ($0,8360\pm 0,2180$);

– фактор почвы оказывает существенное влияние на КН Zn (F-критерий=30,1262, $p<0,01$), сила влияния данного фактора составляет 79%, различие средних величин КН Zn по сое (зерно) между исследованными почвами достоверно ($p<0,01$).

Библиографический список:

1. Перельман А.И. Геохимия ландшафтов / А.И. Перельман. – М., 1975. – 342 с.

2. Прохорова Н.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях в условиях техногенеза / Н.В. Прохорова, Н.М. Матвеев // Вестник СамГУ. – 1996. - №3. – С 125-148.
3. Fraga C.G. Relevance, essentiality and toxicity of trace elements in human health. *Molecular Aspects of Medicine*, 2005, 26(4-5): 235-244 (doi.org/10.1016/j.mam.2005.07.013).
4. Wim de Vries, Römken P.F.A.M., Schütze G. Critical Soil Concentrations of Cadmium, Lead, and Mercury in View of Health Effects on Humans and Animals. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 2007, 191: 91-130 Springer, New York (doi.org/10.1007/978-0-387-69163-3_4).
5. Kim J., Lee Y., Yang M. Environmental exposure to lead (Pb) and variations in its susceptibility. *Journal of Environmental Science and Health, Part C: Environmental Carcinogenesis and Ecotoxicology Reviews*, 2014, 32(2): 159-185. (doi.org/10.1080/10590501.2014.907461).
6. Li Z., Ma Z., van der Kuijp T.J., Yuan Z., Huang L. A review of soil heavy metal pollution from mines in China: pollution and health risk assessment. *Science of the Total Environment*, 2014, 468-469:843-853. (doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.08.090).
7. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2016621301, 22 сентября 2016 г. «Систематизация результатов исследований по миграции тяжелых металлов ТМ в системе почва – сельскохозяйственные растения».
8. Лакин Г.Ф. Биометрия / Г.Ф. Лакин. – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.

Оригинальность 96%