

ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ НА ПОДВИЖНОСТЬ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Кураева И.В., Локтионова Е.П.,
Сёмка Л.В., Войтюк Ю.Ю., Матвиенко А.В.
Институт геохимии, минералогии и рудообразования
им. Н. П. Семененка НАН Украины
пр-т Паладина, 34, г. Киев, 03142
olena.loktionova.55@mail.ru

Изложены новые данные о подвижных формах тяжелых металлов в черноземах и дерново-карбонатных почвах Украины. Для исследования использованы современные аналитические методы экстракции. Изучена зависимость содержания подвижных форм тяжелых металлов от физико-химических свойств почвенных отложений. *Ключевые слова:* почвы, тяжелые металлы, физико-химические свойства, подвижные формы.

Вплив фізико-хімічних властивостей ґрунтів на рухливість важких металів. Кураєва І.В., Локтіонова О.П., Сьомка Л.В., Войтюк Ю.Ю., Матвієнко О.В. Викладені нові дані про рухомі форми важких металів у черноземах і дерново-карбонатних ґрунтах України. Для дослідження використані сучасні аналітичні методи екстракції. Вивчено залежність вмісту рухомих форм важких металів від фізико-хімічних властивостей ґрунтових відкладень. *Ключові слова:* ґрунт, важкі метали, фізико-хімічні властивості, рухомі форми.

The influence of physical and chemical properties of soils on mobility of heavy metals. Kuraeva I., Loktionova E., Somka L., Voituk J., Matvienko A. New data about the mobile forms of heavy metals in soils of Ukraine on example of the chernozem and sod-carbonate soils are obtained. Modern analytical methods of extraction are used for the research. It was studied the dependence of the heavy metals mobile forms maintenance from physical and chemical properties of soil sediment. *Keywords:* soils, heavy metals, physical and chemical properties, mobile forms.

Содержание подвижных форм тяжелых металлов (ТМ) в почвах – один из важнейших показателей, определяемых при эколого-геохимических исследованиях окружающей среды. Подвижные формы ТМ определяют их дальнейший переход в природные воды, растительность и далее — в живые организмы. Исследованием подвижности ТМ в почвенных отложениях занимаются специалисты большого круга естественных наук. Под подвижными

формами элементов в почвах большинство исследователей подразумевают обменные и легкорастворимые формы [1, 2, 3]. К основным факторам, влияющим на подвижность металлов в почве, относятся её физико-химические свойства. На основании эколого-геохимического картирования и опытно-методических работ украинские ученые [4, 5] впервые установили особенности физико-химической миграции ТМ в почвенном покрове Украины. Однако мно-

гие вопросы остаются нерешенными. Это касается изучения подвижных форм ТМ в разных типах почв Украины.

Цель работы — установить влияние физико-химических свойств почв на подвижность ТМ в черноземах и дерново-карбонатных почвах.

Объекты и методы. Исследованы черноземы обыкновенные на элювии песчаных сланцев и малогумусные на лёссах, а также почвы дерново-карбонатные на кварцевых песках.

Работы по отбору проб проводились в различных ландшафтных зонах Украины. Глубина отбора — 0—25 см. Пробы отбирались по ГОСТУ 17.4.4.02-84 [6]. Дерново-карбонатные почвы на кварцевых песках характерны для Полесья, почвенные образцы отбирались в районе с. Нитино, Емильчинского р-на, Житомирской области. Черноземы обыкновенные встречаются в северной части степной зоны. Черноземы обыкновенные на элювии песчаных сланцев отбирались в с. Черниговка Донецкой обл., а черноземы обыкновенные малогумусные — на лёссах в селе Никитовка Донецкой обл.

На аналитической базе ИГМР НАН Украины проводилось определение микроэлементного состава изучаемых почв методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой, разложением проб почв и использованием микроволновых систем ETHOS-1 (ICP-MS) [7]. Использование этого метода позволяет значительно уменьшить продолжительность и трудоемкость пробопод-

готовки, т.е. переход ТМ из почвы в раствор. Это обусловлено созданием в автоклаве высокой температуры и давления (250 °С, 8 МПа) и влиянием микроволнового излучения на раствор и твердый образец. Пробоподготовка к анализу — важный, необходимый, трудоемкий и затратный этап аналитического исследования.

Содержание гумуса, глинистой составляющей, рН почвенного раствора, емкость обменных катионов определялись общепринятыми методами [8]. Анализ форм Cu, Zn, Co, Ni, связанных с разными фракциями почв, осуществляли по методике последовательных экстракций [1, 9]. Для выявления зависимости содержания подвижных форм ТМ в почвенных разностях от их физико-химических свойств (четыре фактора: рН, содержание глинистой составляющей, гоумуса, валовое содержание элемента) использованы линейные эмпирические модели регрессионного типа. Проверку значимости коэффициента в уравнениях регрессии проводили по критерию Стьюдента. По этому же критерию отбраковывали переменные величины, слабо связанные с результативным признаком. Адекватность модели проверяли по критерию Фишера [10].

Результаты исследований. Установлено, что ТМ в значительном количестве находятся в глинистой фракции анализируемых почв [11]. Изучение минерального их состава показано в табл. 1. Выявлено, что в глинистых фракциях преобладает гидрослюда, есть каолинит, монтмориллонит, хлорит.

Таблица 1

Средний химический и минеральный состав глинистой фракции почв, %

Почва	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	гидро-слода	каолинит	хлорит	монтмо-риллонит	органическое вещество
Дерново-карбонатная почва на кварцевых песках (n = 29)	56,45	4,88	27,59	1,82	2,02	2,25	3,30	42	8	–	50	–
Чернозем обыкновенный на элювии песчаных сланцев (n = 24)	61,77	9,83	21,09	0,81	1,90	0,46	2,90	60	10	0	15	15
Чернозем обыкновенный малогумусный на лессах (n = 33)	52,20	12,60	24,30	0,60	2,60	0,10	4,60	68	12	–	10	10

В таблице 1 знак «–» означает, что содержание отсутствует, n – количество изученных проб.

Органическое вещество находится в виде органоминеральных комплексов встречаются кварц и другие компоненты. Глинистая фракция черноземов имеет повышенное содержание органического вещества.

Физико-химические характеристики исследуемых почв представлены в табл. 2.

В табл. 2 использованы обозначения: $\bar{x}$ – среднее содержание; δ – стандартное отклонение; v – коэффициент вариации; n – количество изученных проб.

Содержание валовых и подвижных форм элементов и результаты статистической обработки представлены в табл. 3.

Установлено, что на содержание подвижных форм Zn в дерново-карбонатных почвах на кварцевых песках оказывают влияние pH почвенного раствора, валовое содержание и глинистая составляющая, а на Co и Ni – совокупность указанных факторов. Связи между pH почвенного раствора и содержанием подвижных форм Cu в этом типе почв не выявлено и оно зависит не только от перечисленных факторов, но и от качественного состава гумуса.

Таблица 2

Физико-химическая характеристика почв

Почва	Параметр	рН водной вытяжки	Ёмкость обменных катионов, мг-экв/100г почвы	Содержание фракции < 0,001 мм (%)	Общее содержание гумуса (%)
Дерново-карбонатная почва на кварцевых песках (n = 29)	χ	6,2	12,50	16,5	1,32
	δ	0,5	0,60	0,8	0,5
	ν	7,9	2,40	4,8	10,2
Чернозем обыкновенный на элювии песчаных сланцев (n = 24)	χ	7,0	32,6	32,4	3,59
	δ	0,6	1,15	3,2	0,7
	ν	6,8	4,55	25,0	18,0
Чернозем обыкновенный малогумусный на лёссах (n = 33)	χ	7,5	41,0	35,3	4,5
	δ	2,2	2,10	2,3	2,3
	ν	12,6	4,65	6,5	17,2

Таблица 3

Результаты регрессионного анализа зависимости содержания подвижных форм меди, цинка, кобальта и никеля от физико-химических свойств почв

Статистическое уравнение	Содержание, мг/кг	
	валовое	подвижных форм
Дерново-карбонатная почва на кварцевых песках $Zn_{\text{подв}} = 3,82 + 0,07 Zn_{\text{вал}} + 6,45 pH + 0,36 \text{ гл. (R = 0,91)}$ $Co_{\text{подв}} = 6,65 - 0,02 Co_{\text{вал}} + 0,68 pH - 0,37 \text{ гл.} + 0,32 \text{ гм. (R = 0,89)}$ $Ni_{\text{подв}} = 0,67 pH - 0,05 Ni_{\text{вал}} + 0,25 \text{ гл.} - 0,56 \text{ гм. (R = 0,92)}$ $Cu_{\text{подв}} = 3,55 - 0,05 Cu_{\text{вал}} + 0,15 \text{ гл.} - 0,91 \text{ гм. (R = 0,98)}$	110—40 12—10	7,0—0,5 7,5—0,6
Чернозем обыкновенный на элювии песчаных сланцев $Zn_{\text{подв}} = 0,02 Zn_{\text{вал}} + 5,23 pH - 0,25 \text{ гл. (R = 0,83)}$ $Co_{\text{подв}} = 11,14 + 6,46 Co_{\text{вал}} + 1,45 pH - 0,43 \text{ гм (R = 0,79)}$ $Ni_{\text{подв}} = 3,13 pH - 0,10 Ni_{\text{вал}} 0,11 \text{ гл. (R = 0,78)}$ $Cu_{\text{подв}} = 28,9 + 0,02 Cu_{\text{вал}} 3,91 pH - 0,11 \text{ гл.} + 3,1 \text{ гм. (R = 0,81)}$	90—160 18—15 60—30 80—20	22—1,2 5,2—1,5 7,0—0,3 15,2—0,5
Чернозем обыкновенный малогумусный на лёссах $Zn_{\text{подв}} = 2,37 - 0,01 Zn_{\text{вал}} - 2,52 pH - 0,04 \text{ гл.} + 0,31 \text{ гм. (R = 0,79)}$ $Co_{\text{подв}} = 5,67 + 2,64 \text{ гм.} - 2,36 pH + 0,08 \text{ гл. (R = 0,83)}$ $Ni_{\text{подв}} = 3,169 - 3,44 pH - 0,42 Ni_{\text{вал}} \text{ (R = 0,87)}$ $Cu_{\text{подв}} = 11,21 - 0,13 Cu_{\text{вал}} + 0,31 \text{ гм. (R = 0,94)}$	145—40 35—8 38—20 20—17	7,9—0,7 9,4—0,1 15,5—1,0 9,0—0,7

В черноземах обыкновенных на лёссах песчаных сланцев содержание подвижных форм Zn и Ni зависит от рН почвенного раствора и наличия глинистой составляющей, а

также от валового содержания этих элементов. На количество подвижных форм Co влияет органическое вещество, рН почвенного раствора, валовое содержание этого металла.

На содержание подвижных форм Cu влияют все отмеченные факторы.

В черноземах обыкновенных малогумусных содержание подвижных форм Ni и Co зависит от pH почвенного раствора, органической и глинистой составляющих, а также валового содержания этих металлов, подвижных форм Zn – от его валового содержания и pH почвенного раствора, а на содержание подвижных форм меди в основном влияют органическая составляющая и валовое содержание металла.

В табл. 3 использованы обозначения: подв. – подвижные формы; вал. – валовое содержание, гм – содержание гумуса; гл. – глинистая составляющая; R – коэффициент множественной регрессии.

Исследования дали возможность установить, что в черноземах обыкновенных содержание подвижных форм Zn и Ni зависит от pH почвенного раствора, наличия глинистой составляющей и их валового содержания. На количество подвижных форм Co влияет содержание органического вещества, pH почвенного раствора, валовое содержание Co. На содержание подвижных форм Cu влияют все отмеченные факторы.

Выводы. Подвижность химических элементов в почвах определяется характером их соединений и физико-химическими свойствами почв. Основные факторы, влияющие на подвижность микроэлементов в почве: ёмкость обменных катионов, щелочнокислотные условия, состав и содержание глинистой фракции и органического вещества. Построены линейные эмпирические модели зависимости содержания подвижных форм металлов от основных физико-химических свойств почв. Они служат основой для прогноза содержания подвижных форм химических элементов в почвах региона.

На основании полученных зависимостей можно прогнозировать содержание подвижных форм микроэлементов в почвах Украины; проводить эколого-геохимическое картирование почв на основе показателей подвижности и особенностей физико-химической миграции элементов почвы, а также осуществлять построение карт суммарного почвенного загрязнения по подвижным формам ТМ. Это позволит обоснованно осуществлять эколого-геохимическую оценку исследуемых территорий, находящихся под влиянием промышленных предприятий различного профиля.

Литература

1. Кузнецов В.А., Шимко Г.А. Метод постадийных вытяжек при геохимических исследованиях. – Минск : Наука и техника, 1990. – 65 с.
2. Ладонин Д.В. Соединения тяжелых металлов в почвах – проблемы и методы изучения // Почвоведение. – 2002. – №6. – С. 682–692.
3. Мотузова Г.В. Соединение микроэлементов в почвах: системная организация, экологическое значение, мониторинг. М: Эдиториал УРСС, 1999. – 166 с.
4. Жовинский Э.Я. Геохимия фтора в осадочных формациях юго-запада Восточно-Европейской платформы. – Киев: Наук. думка, 1979. – 200 с.
5. Самчук А.И., Бондаренко Г.Н., Долин В.В. Физико-химические условия образования мобильных форм токсичных металлов в почвах // Минерал. журн. – 1998. – 20, № 2. – С. 133–166.

6. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа: ГОСТ 17.4.4.02-84. – [действующий от 1986–01–01]. – М.: Госстандарт СССР, 1984. – 7 с.
7. Пономаренко О.М., Самчук А.І., Красюк О.П. та ін. Аналітичні схеми пробопідготовки гірських порід та мінералів і визначення в них мікроелементів методом мас-спектрометрії з індукційно зв'язаною плазмою (ISP-MS) // Минерал. журн. – 2008. – 30, № 4. – С. 97–103.
8. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. – М: Изд-во Моск. ун-та, 1970. – 487 с.
9. Крамбейн У., Грейбилл Ф. Статистические модели в геологии: Пер. с англ. – М.: Мир, 1969. – 369 с.
10. Tessier A, Cambell P.G.C., Bisson M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals // Anal. Chem. – 1979. – № 51. – P. 844–851.
11. Жовинский Э.Я., Кураева И.В. Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины. – Киев: Наук. думка, 2002. – 215 с.