

---

# ХІМІЯ ҐРУНТІВ

---

---

УДК 631.416.9

Н. Н. Мирошниченко, А. В. Тертышная

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ ОПОДЗОЛЕННОГО РЯДА ТРАНСЭЛЮВИАЛЬНЫХ ЛАНДШАФТОВ ЛЕВОБЕРЕЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ УКРАИНЫ

*ННЦ «Институт почвоведения и агрохимии имени А. Н. Соколовского»*

Изучено перераспределение подвижных и прочносвязанных форм микроэлементов по профилю серых лесных и темно-серых оподзоленных почв трансэлювиальных ландшафтов левобережной Лесостепи Украины. Выявлены закономерные различия миграции биофильных и техногенных элементов и их накопления в тест-растениях.

*Ключевые слова: склоновые почвы, микроэлементы, распределение, миграция.*

М. М. Мірошниченко, А. В. Тертишна

*ННЦ «Институт грунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського»*

## РОЗПОДІЛ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ У ҐРУНТАХ ОПІДЗОЛЕННОГО РЯДУ ТРАНСЕЛЮВІАЛЬНИХ ЛАНДШАФТІВ ЛІВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Досліджено перерозподіл рухомих і міцнозв'язаних форм мікроелементів за профілем сірих лісових та темно-сірих опідзолених ґрунтів транселювіальних ландшафтів лівобережного Лісостепу України. Виявлено закономірні відмінності міграції біофілних та техногенних елементів та їх накопичення у тест-рослинах.

*Ключові слова: схилі ґрунти, мікроелементи, розподіл, міграція.*

N. N. Miroshnichenko, A. V. Tertishna

*NSC «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named for O. N. Sokolovsky»*

## DISTRIBUTION OF TRACE ELEMENTS IN PODZOLIZED SOILS OF TRANSELUVIAL LANDSCAPES OF UKRAINIAN LEFT-BANK FOREST STEPPE

The redistribution of mobile and fixed forms of trace elements by the profile of gray forest soils, and dark gray podzolized ones of transeluvial landscapes of left bank Forest-Steppe of Ukraine is investigated. Naturally determined differences of the biophylic and technological elements migration and their accumulation in test plants are disclosed.

*Key words: surface soils, minerals, distribution, migration.*

Признание ключевого значения почв в регулировании химического состава потоков вещества в современных ландшафтах и формировании их экологического состояния является одной из наиболее продуктивных идей почвенно-геохимических исследований. Работами В. И. Вернадского, В. А. Ковды, М. А. Глазовской и других выдающихся исследователей была доказана необходимость целенаправленного управления процессами массопереноса биогенных элементов для обеспечения благоприятной геохимической обстановки. Изменение интенсивности этих процессов под влиянием антропогенного фактора уже привело к полной или частичной перестройке экосистем и формированию новых ландшафтов, что, в свою очередь отразилось на химическом составе большинства почв восточной части европейского

континента (Добровольский, 1999; Алексеенко, 2006). Наиболее значительные изменения характерны для почвенного покрова крупных индустриально-промышленных центров, вокруг которых отчетливо прослеживается наложение техногенной эмиссии элементов на природный геохимический фон (Ильин, 1997; Галиулин, 2001).

Как правило, в почвенно-геохимических исследованиях объектами изучения процессов миграции тяжелых металлов являются почвы элювиальных и аккумулятивных ландшафтов (первые – как постоянный источник естественной миграции элементов в сопряженном геохимическом ландшафте, вторые – как их природный депонент). Трансэлювиальным ландшафтам в этом отношении отводится промежуточное значение и они большей частью выпадают из поля зрения исследователей (Протасова, 2000; Богатырев, 2003). Следует отметить, что склоновые почвы, занимающие в Украине от 30 до 60 % сельскохозяйственных угодий, являются сложным природным образованием, отражающим влияние зональных факторов почвообразования, эрозионных процессов и различной степени аридизации в зависимости от формы, крутизны, экспозиции и нанорельефа (Природный механизм..., 2011). Не менее сложным является и формирование микроэлементного состава склоновых почв, однако, четких закономерностей его изменения относительно плакорных условий до сих пор не установлено. Вследствие этого при решении таких вопросов, как картирование почв по микроэлементному составу, оценка их загрязнения, рекомендации по оптимизации микроэлементного питания растений, специфика склоновых почв не учитывается.

Задачей настоящих исследований было выявление таких специфических особенностей формирования микроэлементного состава склоновых почв и предварительная оценка размеров их перераспределения по профилю и в ландшафте.

## **ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

В качестве объектов исследования были выбраны серые лесные и темно-серые оподзоленные почвы в радиусе до 15 км от г. Харькова, т.е. в зоне, потенциально подверженной техногенному влиянию мегаполиса. При выборе объектов исходили из рабочей гипотезы о том, что на склоновых элементах рельефа наибольшие различия распределения микроэлементов будут проявляться в почвах с текстурно дифференцированным профилем. Почвенные разрезы закладывали по катене в различных частях склонов, близких по экспозиции (восток и юго-восток), но отличных по крутизне, растительности и типу использования: серые лесные – на склоне до 15° с естественным разнотравьем (необкашиваемые неудобья), темно-серые оподзоленные – на склоне 3–5° под пятилетней залежью.

Методика исследований предусматривала определение содержания подвижных форм (вытяжка ацетатно-аммонийным буферным раствором с pH 4,8 по ДСТУ 4770.1-9) и прочносвязанных форм (вытяжка 1 н HCl по МВВ 31-497058-015) Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb и Zn в почве и ее илистой части по генетическим горизонтам почвенных разрезов. Илистую часть почвы выделяли по методу Н. И. Горбунова. Одновременно (т.е. в один день на всех объектах) отбирали пробы тест-растений *Agropyrum repens*, в которых определяли содержание тех же микроэлементов после озольнения по ГОСТ 26929. Измерение массовой части микроэлементов проводили атомно-абсорбционным методом с атомизацией в пламени пропан-воздух на спектрофотометре Сатурн.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

Известно, что в плакорных условиях распределение микроэлементов по профилю почв подзолистого ряда имеет природные максимумы накопления в гумусо-аккумулятивном и иллювиальном горизонтах, а в зонах техногенного загрязнения тяжелые металлы, как правило, накапливаются в верхнем пятисантиметровом (или пахотном) слое (Богатырев, 2003; Шеховцева, 2010). Наши предыдущие исследования показали, что степень дифференциации содержания

микроэлементов по генетическим горизонтам уменьшается в ряду от светло-серых к темно-серым оподзоленным почвам, что связано со спецификой профильного распределения отдельных глинистых минералов (Тертышная, 2011).

Аналогичная закономерность присуща и распределению прочносвязанных форм большей части изучаемых микроэлементов (за исключением Cr и Cd) в почвах верхней части склонов, причем в серой лесной почве есть два горизонта накопления меди (рис. 1), а в темно-серой оподзоленной – один (рис. 2). Значительное накопление Cu, Zn, Pb и Ni наблюдается непосредственно под дерниной (в первом случае) и в пахотном слое (во втором).

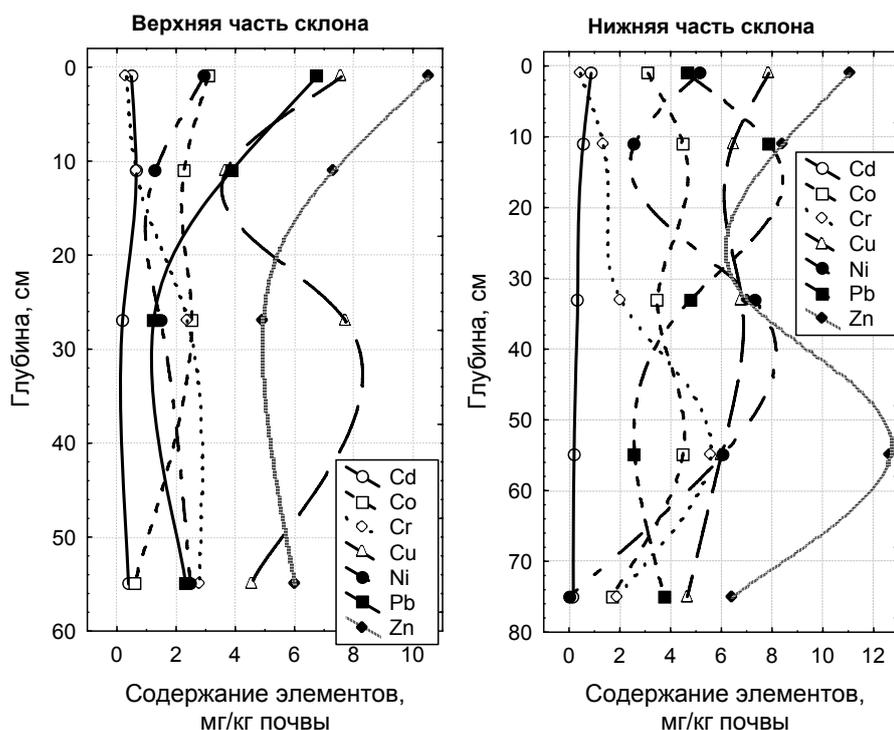


Рис. 1. Распределение прочносвязанных форм микроэлементов по профилю серых лесных почв в различной части склона

В средней части склонов дифференциация профиля почв по содержанию прочносвязанных форм уменьшается из-за меньшей влагообеспеченности, и как следствие – снижения интенсивности как биологического накопления, так и оподзоливания. В нижней части склонов вновь четко прослеживается увеличение содержания в верхней части гумусо-элювиального горизонта таких биофильных элементов, как медь, цинк и марганец, что может быть вызванным как более интенсивным биологическим выносом из нижележащих горизонтов, так и перераспределением почвенного материала с поверхностным стоком. В целом же этот горизонт, как и весь верхний полуметровый слой, имеет близкие запасы прочнофиксированных форм, что не позволяет утверждать об обеднении склоновых почв физиологически необходимыми микроэлементами.

Однако, известно, что ухудшение условий микроэлементного питания растений может наблюдаться и при их достаточно высоком валовом количестве. Установлено, что основными факторами буферности почв относительно микроэлементов и тяжелых металлов являются кислотно-основное равновесие и сорбционные свойства почвы, связанные с содержанием гумуса, глинистых минералов, полоторных окислов и т.д. (Мотузова, 1994; Ильин, 1995). Нейтральные значения pH (6,9–7,2) в верхних

горизонтах изучаемых склоновых почв из-за близкого залегания карбонатов и их поднятия к поверхности в летний период неизбежно будут ограничивать уровень концентрации микроэлементов (прежде всего, Zn и Fe) в почвенном растворе. В этом отношении использование такого показателя, как содержание подвижных форм, извлекаемых ацетатно-аммонийным буферным раствором с pH 4,8, имеет тот существенный недостаток, что выравнивает уровень кислотности до значений, способствующих достаточно высокой подвижности всех изучаемых микроэлементов.

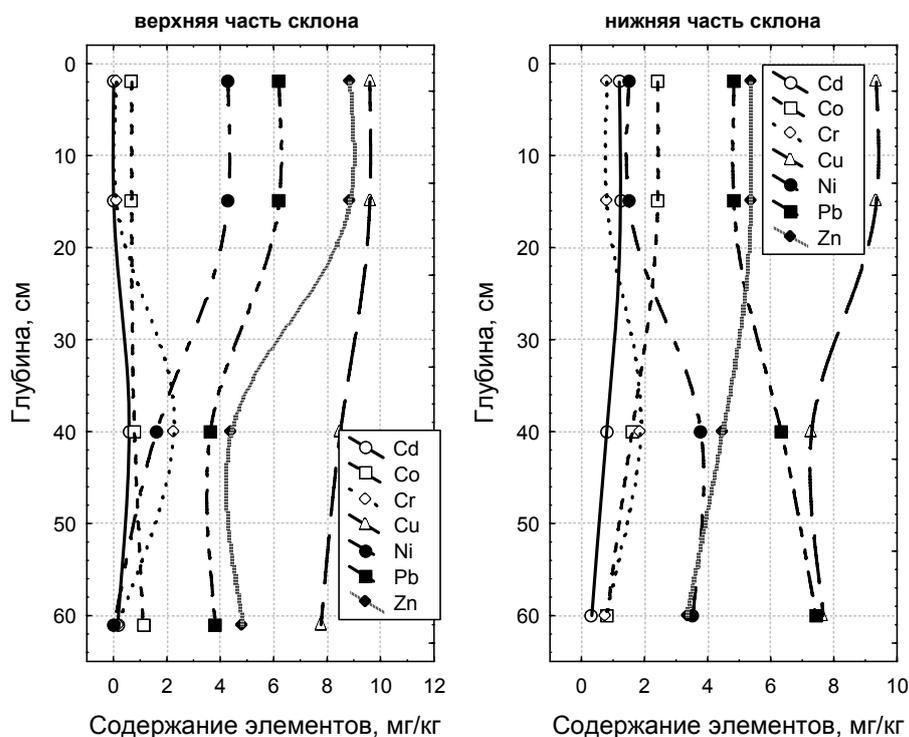


Рис. 2. Распределение прочносвязанных форм микроэлементов по профилю темно-серых оподзоленных почв в различной части склона

Вероятно, по этой причине, а также вследствие миграционных процессов распределение подвижных форм микроэлементов по профилю склоновых почв выявилось иным. В частности, цинк и медь в серой лесной почве верхней части склона имели максимум в иллювиальном горизонте, а в нижней части склона – в верхнем десятисантиметровом слое (рис. 3).

Дифференциация профиля по содержанию подвижных форм Cd и Ni практически не наблюдалась, а наибольшее количество подвижного железа (в отличие от его прочносвязанных форм) четко приурочено к элювиальному горизонту. В целом же содержание подвижных форм цинка, меди, марганца и железа в верхней части гумусо-элювиального горизонта склоновых серых лесных почв было более высоким, чем в плакорных условиях под лесом, и по грациям, предложенным И. Г. Важениным, его можно оценить как высокую степень обеспеченности относительно потребностей растений природных сенокосов и пастбищ.

По распределению большинства изучаемых микроэлементов в почвенном профиле наибольшая степень дифференциации присуща илистой части почв, в которой содержание Cd, Co, Cu, Fe, Mn и Ni изменялось с глубиной на порядок (таблица). В нижней части склонов прослеживается тенденция накопления кадмия и железа в иле гумусо-элювиального горизонта, а для темно-серой оподзоленной почвы – накопление меди и цинка в иле по всему почвенному профилю.

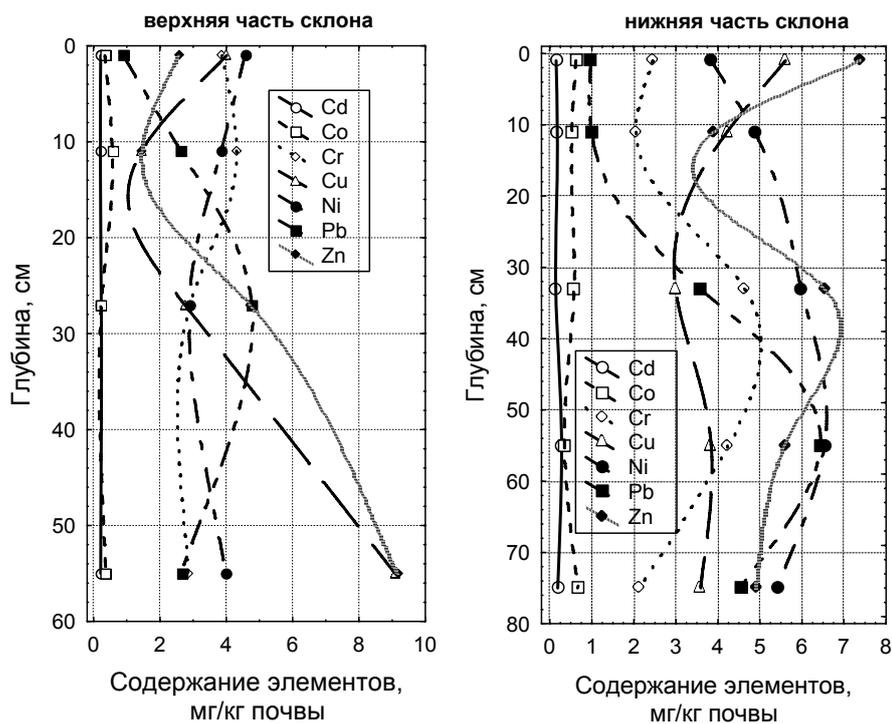


Рис. 3. Распределение подвижных форм микроэлементов по профилю серых лесных почв в различной части склона

Содержание прочносвязанных форм микроэлементов в илистой части почв

| Часть склона                   | Глубина, см | Cd   | Co   | Cr   | Cu   | Fe  | Mn  | Ni   | Pb   | Zn  |
|--------------------------------|-------------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|-----|
| Серые лесные почвы             |             |      |      |      |      |     |     |      |      |     |
| верхняя                        | 2–20        | 0,14 | 3,1  | 3,2  | 17,9 | 5,7 | 140 | 0,16 | 18,0 | 28  |
|                                | 20–35       | 0,26 | 2,2  | 14,9 | 10,4 | 2,5 | 140 | 3,0  | 2,4  | 14  |
|                                | 50–65       | 2,15 | 2,4  | 10,2 | 7,6  | 3,5 | 63  | 1,9  | 9,1  | 10  |
| средняя                        | 2–20        | 0,13 | 1,9  | 7,6  | 11,9 | 6,4 | 5,1 | 2,4  | 16,0 | 15  |
|                                | 20–45       | 0,47 | 6,1  | 13,5 | 13,4 | 23  | 58  | 3,9  | 9,0  | 17  |
|                                | 45–65       | 3,66 | 2,1  | 10,1 | 9,6  | 12  | 120 | 4,7  | 10,0 | 15  |
| нижняя                         | 3–20        | 0,24 | 1,2  | 7,0  | 10,9 | 350 | 85  | 0,21 | 10,0 | 15  |
|                                | 20–45       | 0,21 | 2,6  | 14,1 | 17,2 | 23  | 62  | 3,2  | 8,4  | 18  |
|                                | 45–65       | 0,15 | 5,3  | 13,6 | 15,2 | 14  | 120 | 2,5  | 11,0 | 16  |
| Темно-серые оподзоленные почвы |             |      |      |      |      |     |     |      |      |     |
| верхняя                        | 0–30        | 0,19 | 0,15 | 1,1  | 1,9  | 22  | 110 | 3,3  | 2,7  | 2,1 |
|                                | 30–50       | 0,15 | 0,16 | 2,1  | 2,0  | 35  | 48  | 2,6  | 5,8  | 3,3 |
|                                | 50–70       | 0,12 | 0,11 | 2,0  | 1,9  | 4,3 | 14  | 2,4  | 3,6  | 2,2 |
| средняя                        | 0–30        | 0,23 | 1,2  | 7,9  | 18,1 | 54  | 110 | 18   | 8,8  | 14  |
|                                | 30–50       | 0,13 | 0,11 | 2,2  | 1,8  | 9,1 | 33  | 3,6  | 8,8  | 2,0 |
|                                | 50–70       | 0,21 | 0,19 | 1,2  | 1,7  | 18  | 120 | 4,0  | 5,6  | 3,8 |
| нижняя                         | 0–30        | 1,98 | 1,8  | 2,3  | 12,5 | 330 | 130 | 0,4  | 7,8  | 9,0 |
|                                | 30–50       | 0,21 | 5,4  | 8,8  | 8,2  | 86  | 330 | 4,1  | 9,1  | 8,3 |
|                                | 50–70       | 0,16 | 4,5  | 7,5  | 10,2 | 79  | 300 | 6,9  | 10   | 9,4 |

Учитывая значительную величину обогащения илистого материала и очень умеренный уровень техногенной нагрузки, перераспределение этих элементов в склоновых почвах имеет преимущественно природное происхождение. Наряду с этим, полностью относить перераспределение тяжелых металлов в ландшафте к

чисто природному неправильно, хотя оно и вызвано естественными процессами (Дмитраков, 2002). Разнокачественность илистого материала свидетельствует также о различии склоновых почв по другим формам нахождения микроэлементов – связанных с органическим веществом, глинистыми минералами и т.д. Очевидно, выяснить это можно только с помощью применения одной из схем фракционирования, в частности, предложенной Г. В. Мотузовой и Т. М. Минкиной (Минкина, 2008).

Для пригородных территорий весьма актуальным вопросом является загрязнение растительной продукции аэральным путем, что особенно часто наблюдается на ветроударных склонах. Изучаемые склоны имели именно такую экспозицию, причем серые лесные почвы находились еще и в зоне влияния расположенной в 100–150 м окружной автомобильной дороги с оживленным движением. Пространственное распределение микроэлементного состава тест-растений пырея ползучего показывает тесную взаимосвязь с содержанием подвижных форм таких приоритетных загрязнителей городской среды, как кадмий, свинец и никель (рис. 4). Распределение прочносвязанных форм этих металлов связано с их содержанием в илистой части почвы, причем накопление кадмия как более миграционно способного элемента наблюдается в нижней части склона, а свинца – в верхней его части.

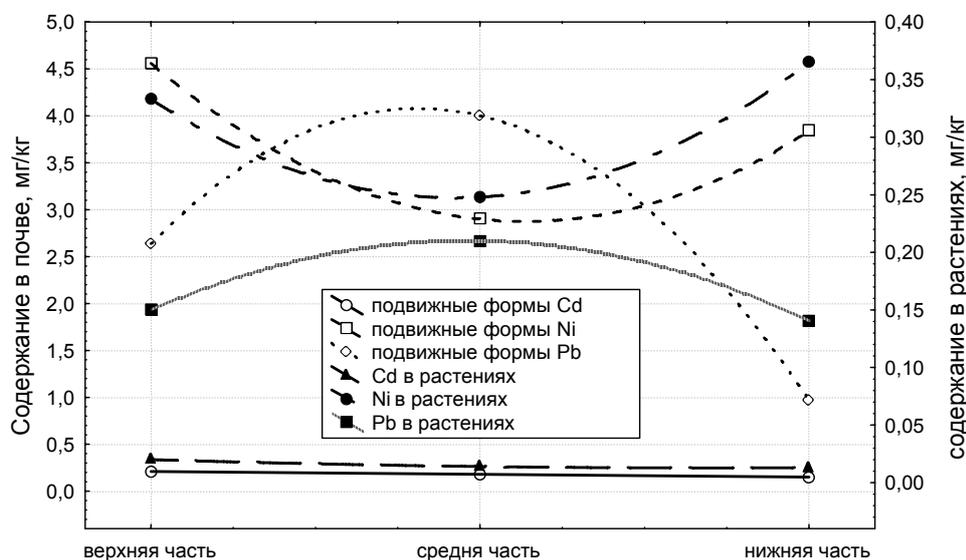


Рис. 4. Содержание Cd, Pb и Ni в надземной части пырея ползучего и корнеобитаемом слое склоновых серых лесных почв

Поступление в растения таких биофильных элементов, как цинк, медь, кобальт, железо и марганец, напротив, практически не имело корреляции с содержанием их различных форм в верхних слоях почвы ( $r=0,1-0,3$ ). Причиной этого, как мы полагаем, является достаточно высокий уровень обеспеченности изучаемых почв подвижными формами этих микроэлементов на фоне ограничения их концентрации в почвенном растворе условиями кислотно-основного равновесия. Также, следует заметить, что при выборе в качестве тест-растения вида со стержневой корневой системой (например, одуванчик лекарственный) весьма вероятно получение иной картины пространственного распространения микроэлементов.

## ВЫВОДЫ

Склоновые почвы оподзоленного ряда имеют один или два максимума содержания прочносвязанных форм микроэлементов в почвенном профиле, что связано с их накоплением в илистом материале, причем наибольшая концентрация

кадмия наблюдается в нижней части склона. Почвы средней части склона имеют наименьшую дифференциацию профиля по содержанию биофильных микроэлементов. Распределение в склоновых почвах подвижных форм микроэлементов существенно отличается от распределения их прочносвязанных форм, но тесно связано с содержанием кадмия, свинца и никеля в тест-растениях пырея ползучего.

\* \* \*

Работа выполнена в рамках трехстороннего гранта Фондов фундаментальных исследований Украины, Беларуси и России (Ф43/010).

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев В. А.** Эколого-геохимические изменения в биосфере. Развитие, оценка / В. А. Алексеев. – М. : Логос, 2006. – 520 с.
- Богатырев Л. Г.** Микроэлементный состав некоторых почв и почвообразующих пород южной тайги русской равнины / Л. Г. Богатырев, Д. В. Ладонин, О. В. Семенюк // Почвоведение. – 2003. – № 5. – С. 568-576.
- Галиулин Р. В.** Территория с перекрывающейся промышленной и сельскохозяйственной деятельностью: экологический риск и агрополитика / Р. В. Галиулин, Р. А. Галиулина, Р. Кухарски // Агрохимия. – 2001. – № 4. – С. 81-89.
- Дмитраков Л. М.** Микроэлементный состав природных и техногенных потоков в ландшафтах Центральной Лесостепи / Л. М. Дмитраков, Д. Л. Пинский // Почвоведение. – 2002. – № 12. – С. 1501-1508.
- Добровольский В. В.** Ландшафтно-геохимические критерии оценки загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами / В. В. Добровольский // Почвоведение. – 1999. – № 5. – С. 639-645.
- Ильин В. Б.** Мониторинг тяжелых металлов применительно к крупным промышленным городам / В. Б. Ильин // Агрохимия. – 1997. – № 4. – С. 81-86.
- Ильин В. Б.** Оценка буферности почв по отношению к тяжелым металлам / В. Б. Ильин // Агрохимия. – № 10. – 1995. – С. 109-113.
- Минкина Т. М.** Комбинированный прием фракционирования соединений металлов в почвах / Т. М. Минкина, Г. В. Мотузова, О. Г. Назаренко, В. С. Крыщенко, С. С. Манджиева // Почвоведение. – 2008. – № 11. – С. 1324-1333.
- Мотузова Г. В.** Природа буферности почв к внешним химическим воздействиям // Почвоведение. – 1994. – № 4. – С. 46-52.
- Природний механізм захисту схилів ґрунтів від водної ерозії** / М. І. Полупан, С. А. Балюк, В. Б. Соловей и др.; за ред. М. І. Полупана. – К. : Фенікс, 2011. – 144 с.
- Протасова Н. А.** Макро- и микроэлементы в почвах Центрально-Черноземной зоны и почвенно-геохимическое районирование ее территории / Н. А. Протасова, А. Б. Беляев // Почвоведение. – 2000. – № 2. – С. 204-211.
- Тертишна А. В.** Розподіл мікроелементів та глинистих мінералів у профілі ґрунтів опідзоленого ряду / А. В. Тертишна // Агрохімія і ґрунтознавство. – 2011. – Вип. 74. – С. 112-115.
- Шеховцева О. Г.** Аэротехногенное изменение химических показателей поверхностного горизонта почв – основного места существования почвенных водорослей (на примере урбоэкосистем г. Мариуполя) / О. Г. Шеховцева, И. А. Мальцева // Ґрунтознавство. – 2010. – Т. 11, № 1-2. – С. 91-96.

*Надійшла до редколегії 04.07.11*