



ПОШИРЕННЯ ПЕДОГЕОХІМІЧНИХ БАР'ЄРІВ МІГРАЦІЇ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ГРУНТОВОМУ ПРОФІЛІ ЧОРНОЗЕМІВ КРИВОРІЖЖЯ

В. М. САВОСЬКО

*Криворізький державний педагогічний університет
пр. Гагаріна, 54, м. Кривий Ріг, 50086
e-mail: savosko1970@gmail.com*

Проаналізовані основні закономірності дислокації педогеохімічних бар'єрів міграції в межах ґрунтового профілю чорноземів звичайних та південних Криворізького гірничо-металургійного регіону. Наведено, що педогеохімічний бар'єр міграції – це частина ґрунтового горизонту або ґрунтового профілю, де спостерігається значна концентрація окремих хімічних елементів як наслідок субстанційно-реакційного феномену. Педогеохімічні бар'єри упорядковуються в п'ять типів: механічний, фізичний, фізико-хімічний, хімічний та біологічний. Поширення педогеохімічних бар'єрів в чорноземах Криворіжжя зумовлюється особливостями розподілу їх провідних компонентів: гумусу, глини, колоїдів, а також карбонатів. За показниками коефіцієнтів концентрації максимальний вміст рухомих форм Fe та Mn в чорноземах звичайних та Fe, Mn, Zn та Cu в чорноземах південних виявлені в поверхневому гумусово-аккумулятивному горизонті. Крім того, проявом дії педогеохімічних бар'єрів міграції можна вважати і вилугування таких металів як Pb та Cd, що зумовлено а-біофільністю цих металів. В чорноземах звичайних найбільш інтенсивно педогеохімічні бар'єри діють в гумусовому перехідному та гумусовому аккумулятивному горизонтах. В чорноземах південних – в гумусовому аккумулятивному горизонті.

Ключові слова: педогеохімічні бар'єри, важкі метали, ґрунти, Криворіжжя

Вступ. В наш час досить поширеною та загальновизнаною є думка про необхідність досягнення певного консенсусу між потребою Людини та можливістю Природи. Однак більшість наукових публікацій з цієї проблеми мають переважно філософсько-теоретичний зміст, в той час, як фактично відсутні практичні пропозиції та рекомендації з цього приводу.

На нашу думку, визначення межі розумного природокористування, за умов збереження ґрунту як незамінного компонента біосфери, є першим практичним кроком у встановленні цього консенсусу. У зв'язку з цим, дуже важливим є розуміння таких функцій ґрунту як «біогеохімічної мембрани» біосфери та її «геохімічного реактора» (Глазовская, 1988; Дмитрук, 2016b; Добровольский и Никитин, 2006; Медведєв, 2016; Позняк, 2017).

Ось чому актуальним є пошук нових ідей, спрямованих на з'ясування біогеохімічних та педогеохімічних особливостей ґрунту, насамперед його здатності до мобілізації власних регенераційних властивостей. Розуміння цієї наукової проблеми також дуже важливе для розробки інноваційних технологій оздоровлення ґрунтів, забруднених різноманітними хімічними

елементами, в тому числі й важкими металами (ВМ) (Дмитрук, 2016a; Мірошниченко та Куц, 2016; Самохвалова та ін., 2016; Madrid, 2010).

Серед вражаючих наукових досягнень другої половини ХХ ст. є концепція геохімічних бар'єрів (ГХБ), що була запроваджена А.І. Перельманом (Перельман, 1972; Перельман, 1989). Час і практика підтвердили її значущість у розв'язанні актуальних проблем геохімії, особливо, зумовлених станом довкілля: прогнозування хімічного складу гірських порід, детоксикація / санація забруднених земель, а також попередження поширення ксенобіотиків у біосфері (Алексєенко и Алексєенко, 2003; Максимович и Хайруліна, 2011; Чертко и Чертко, 2008; Maximovich and Khayrulina, 2014).

Проте спроби впровадження концепції ГХБ в ґрунтознавство виявилися не дуже результативними. Основна причина цього – домінування виключно механічного переносу цієї концепції, а також відсутність достатнього розуміння особливостей структурно-функціональної організованості ґрунтів. Нами розпочато розробку аналога концепції геохімічних бар'єрів міграції, максимально

адаптованих до методології ґрунтознавства – вчення про педогеохімічні бар'єри (ПГХБ) міграції. На прикладі ВМ нами наведено генезис ідеї та дефініція ПГХБ міграції (Савосько, 2017), класифікація / типологія ПГХБ міграції (Савосько, 2018), а також показники ПГХБ міграції (Savosko, 2019).

Мета роботи – з'ясувати основні закономірності розміщення педогеохімічних бар'єрів міграції в ґрунтовому профілі чорноземів звичайних та південних Криворіжжя (Дніпропетровська обл., Північностепова та Середньостепова підзона степової зони України).

Матеріали та методи. Матеріали дослідження – наукові публікації, що стосуються закономірностей надходження, розподілу вмісту ВМ в ґрунтах.

Методи дослідження – аналіз і синтез, індукція і дедукція, аналогія та формалізація, абстрагування та конкретизація, класифікація та моделювання.

Результати та їх обговорення. *Дефініція та принцип дії ПГХБ.* Педогеохімічний бар'єр – це частина ґрунтового горизонту або ґрунтового профілю, де, як наслідок наявності речовин ґрунту і перебігу педогеохімічних процесів та реакцій, відбувається накопичення окремих хімічних елементів (Савосько, 2017; Савосько, 2018; Savosko, 2019). При цьому дуже важливо зазначити, що ПГХБ діє як «субстанційно-реакційний феномен», тобто хімічні елементи внутрішньо ґрунтових міграційних потоків у результаті взаємодії з компонентами твердої фази ґрунту концентруються на окремих ділянках ґрунтового профілю (рис. 1).

Розглянемо сутність ПГХБ міграції на прикладі закономірностей розподілу в ґрунтовому профілі ВМ. У ґрунті метали присутні у всіх його фазах: твердій, рідкій, газоподібній, а також і живій (Минкина и др., 2009; Мотузова, 2009; Савосько, 2016; Sposito, 2008; Тан, 1982). Однак основу та сутність педогеохімії ґрунту зумовлюють виключно рідка і тверда фази ґрунту. При цьому, тверда фаза ґрунту – це «педогеохімічна матриця», яка містить основну кількість хімічних елементів, а рідка фаза ґрунту – «педогеохімічне поле», де максимально зосереджені найбільш реакційноздатні форми («порції») хімічних елементів. Взаємодія між твердою і рідкою ґрунтовими фазами формує динамічну рівновагу всієї педогеохімічної системи (рис. 1).

Типологія та показники ПГХБ. На нашу думку, серед ПГХБ доцільно виділити п'ять типів (рис. 2), які відповідають видам поглинальної / вбирної здатності ґрунту (у розумінні К.К. Гедройца (Гедройц, 1955)): механічний (клас

А), фізичний / сорбційний (клас В), фізико-хімічний / іонообмінний (клас С), хімічний (клас D) і біологічний (клас Е). Додатково є сенс відокремити класи і підкласи ґрунтових бар'єрів. Це доцільно зробити з урахуванням: окремих ефектів дії, агентів поглинання та особливих механізмів / реакцій педогеохімічних явищ (Савосько, 2018).

Механічний тип ПГХБ міграції проявляється як наслідок: 1) здатності ґрунту утримувати частинки, чий розмір перевищує розмір ґрунтових пор («ефект сита» – фільтраційний клас А.1.); 2) потрапляння частинок в тупики капілярів ґрунту та/або їх осідання на поворотах капілярів («ефект маршруту» – маршрутний клас А.2). Фізичний бар'єр є наслідком дії необмінного вбирання/сорбції металів на зовнішніх та внутрішніх поверхнях часточок ґрунту розміром 0,001-0,01 мм. При цьому агентами цього бар'єру є: 1) гумінові кислоти (гуматно-сорбційний клас В.1), 2) глинисті мінерали (глинистий клас В.2), 3) оксиди/гідроксиди Fe, Mn и Al (гідроксидно-сорбційний клас В.3). Як прояв фізичного бар'єру слід розглядати такі явища як: оклюзія іонів ВМ на поверхнях оксидів / гідроксидів Al, Fe, Mn, ізоморфне заміщення іонами ВМ компонентів глин та мінералів, проникнення іонів ВМ до міжпакетного простору глин та до міжвузлового простору мінералів. Фізико-хімічний тип ПГХБ міграції є результатом іонообмінних процесів між колоїдами (розміром менше 0,001 мм) та іонами металів рідкої фази ґрунту. При цьому можливо: 1) проникнення іонів металів в мономолекулярний щільний шар Штерна (специфічно іонообмінний клас С.1), 2) еквівалентний обмін іонів металів з іонами дифузного шару Гуї (неспецифічно іонообмінний клас С.2). Хімічний тип ПГХБ проявляється при утворенні нерозчинних сполук металів. Це відбувається за умов: 1) присутності в ґрунтовому розчині аніонів (аніонний клас D.1), 2) зміни кислотно-лужних характеристик ґрунтового розчину (кислотно-лужний клас D.2), 3) зміни окислювально-відновних характеристик ґрунтового розчину (окислювально-відновний D. 2 клас). Біологічний тип ПГХБ проявляється при транслокації металів з ґрунту в організми: 1) рослин (фітопоглинальний клас Е.1), 2) тварин (зоопоглинальний клас Е.2), 3) мікроорганізмів (мікробопоглинальний клас Е.3).

Ми вважаємо, що простим в розрахунку й інформаційним показником ПГХБ міграції є коефіцієнт контрастності. Цей показник розраховується як відношення вмісту ВМ в межах ґрунтового бар'єру до його кількості в материнській ґрунотвірній породі (Савосько, 2018).

Поширення ПГХБ в профілі чорноземів Криворіжжя. Ґрунтовий покрив регіону сформувався під степовою трав'янистою рослинністю на лесоподібних суглинках в автоморфних гідрологічних умовах за непромивного водного режиму. Провідним типом

ґрунтоутворення в регіоні є чорноземний, що характеризується накопиченням гуматного гумусу, нейтральною реакцією і переважанням у вбирному комплексі кальцію (Фридланд и др., 1981).

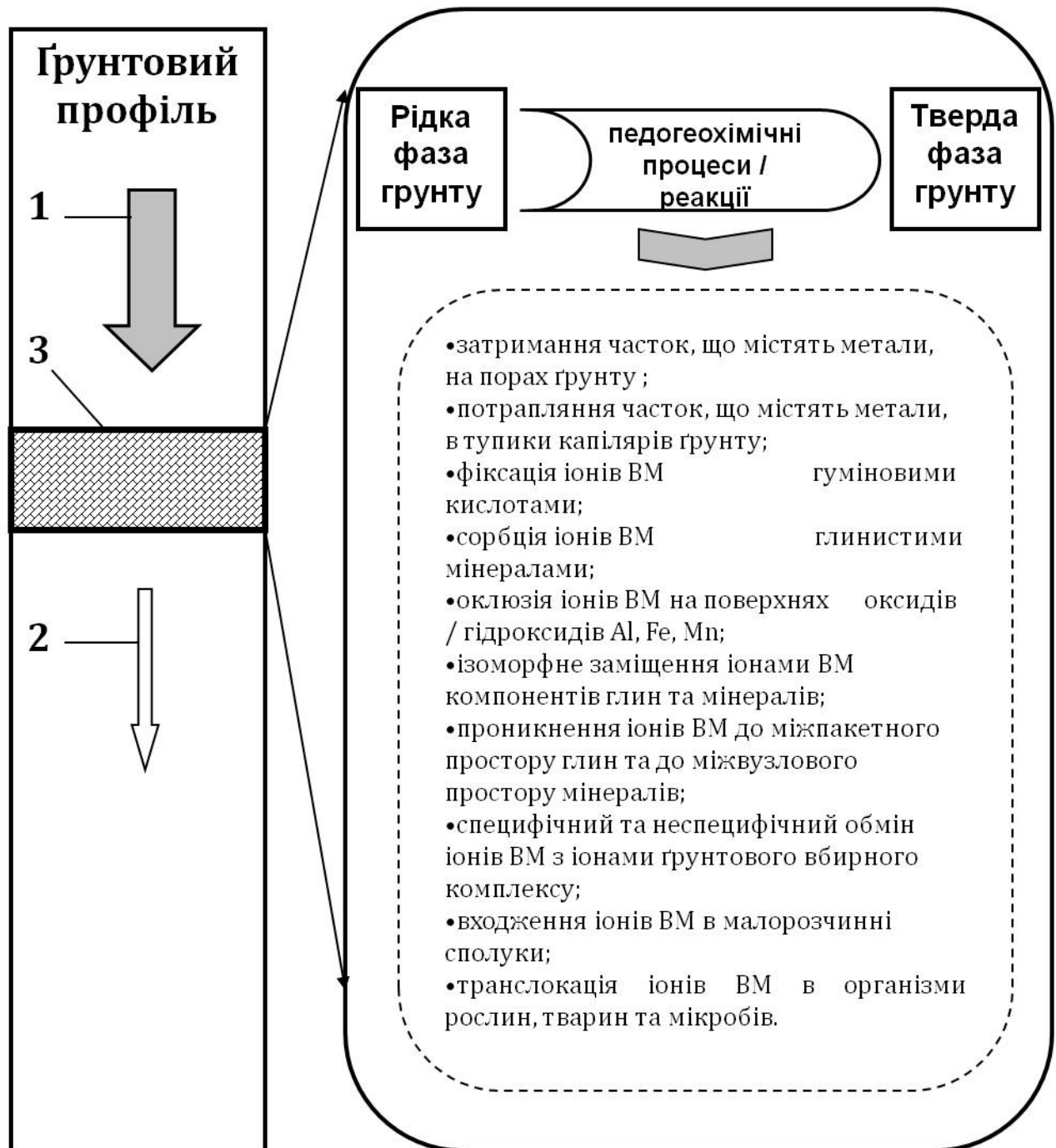


Рис. 1. Компоненти та принцип дії педогеохімічного бар'єра міграції важких металів (за В.М. Савосько (Savosko, 2019) з уточненнями та доповненнями)

Fig. 1. Components and action's principle of the pedochemical barriers to heavy metals' migration (by V.M. Savosko (Savosko, 2019) with refinements and additions)

Примітка: напрями міграції важких металів 1 – до бар'єру, 2 – після бар'єру; 3 – місце накопичення металів на бар'єрі

Note: trend of heavy metals migration:- before the barrier, 2 - after the barrier; 3 – area of metals accumulation on the barrier



Рис. 2. Типологічна схема педогеохімічних бар'єрів міграції важких металів

Fig. 2. The pedogeochemical barriers to heavy metals' migration typological scheme

Зональні типи ґрунтів Криворіжжя – чорноземи звичайні і південні (Доліна та Сметана, 2014; Савосько, 2009; Савосько, 2015). При цьому чорноземи звичайні поширені на вододільних плато і високих терасах в центральній і північній частинах регіону. Вони

характеризуються: середньопотужними гумусовими горизонтами (50-60 см), середнім вмістом гумусу (4,5-4,7 %), нейтральною та слабо-лужною реакцією ґрунтового розчину (pH_{H_2O} 7,1-7,2), високим вмістом суми обмінних основ (35-40 мг/екв. на 100 г ґрунту). Ґрунтовий

профілі чорноземів звичайних Криворіжжя має таку будову: гумусовий горизонт Н – 0-30 см, гумусовий перехідний горизонт Н_{рк} – 30-60 см, верхній перехідний горизонт Ph_{1к} – 60-90 см, нижній перехідний горизонт Ph_{2к} – 90-110 см (Савосько, 2015).

Чорноземи південні поширені на півдні Криворіжжя, та у порівнянні з чорноземами звичайними, сформувалися у більш посушливих ґрунтоутвірних умовах, що закономірно позначилося на їх властивостях. Вони утворювалися під різнотравно-типчаковою рослинністю на лесоподібних карбонатних суглинках (Фридланд и др., 1981). Чорноземи південні регіону характеризуються: малопродуктивним гумусовим горизонтом (25-35 см), невисоким вмістом гумусу (3,1-3,4%), лужною реакцією ґрунтового розчину (рН_{Н2О} – 7,5-7,6), середнім вмістом суми обмінних основ (30-35 мг.-екв / 100 г ґрунту). Ґрунтовий профіль чорноземів південних складається з таких горизонтів: гумусового Н_к – 0-20 см, гумусового перехідного Н_{рк} – 20-50 см, верхнього перехідного Н_{р1к} – 50-

70 см та нижнього перехідного Н_{р2к} – 70-90 см (Савосько, 2015).

Як раніше зазначалося, дія механічного типу ПГХБ зумовлена, в першу чергу, здатністю ґрунтів затримувати частинки з більшими розмірами, ніж їх пори. Тому закономірно, що фільтраційний клас цього типу бар'єру не має значного та ефективного прояву у поверхневому гумусовому горизонті чорноземів звичайних. Бо цей горизонт характеризується значною шпаруватістю (табл.). Однак, з глибиною в профілі чорноземів збільшується щільність ґрунтів, що значно посилює прояв фільтраційного бар'єру, який в гумусному перехідному горизонті сягає максимального рівня інтенсивності.

Тому можна припустити, що в цьому горизонті фактично затримуються всі частинки, які рухаються в профілі чорноземів звичайних під впливом гравітаційних сил. У зв'язку з цим, логічно припустити відсутність дії фільтраційного класу механічного типу бар'єрів у нижніх горизонтах чорноземів звичайних (першому та другому перехідних).

Таблиця.
Розміщення педогеохімічних бар'єрів міграції важких металів в профілі чорноземів звичайних і чорноземів південних Криворіжжя

Table.
The dislocation of pedogeochemical barriers to heavy metals migration in Chernozems Ordinary and Chernozems Southern profiles at Kryvorizhzhya

Ґрунтові горизонти	Типи педогеохімічних бар'єрів міграції				
	A	B	C	D	E
Чорноземи звичайні					
Гумусовий Н	A.1 +- A.2 --	B.1 ++ B.2 -- B.3 --	C.1 ++ C.2 ++	D.1.1 -- D.2.2 --	E.1 ++ E.2 ++ E.3 ++
Гумусовий перехідний Н _{рк}	A.1 ++ A.2 ++	B.1 +- B.2 +- B.3 -+	C.1 +- C.2 +-	D.1.1 ++ D.2.2 +-	E.1 +- E.2 +- E.3 +-
Верхній перехідний Ph _{1к}	A.1 -+ A.2 +-	B.1 -+ B.2 ++ B.3 ++	C.1 -+ C.2 -+	D.1.1 +- D.2.2 +-	E.1 -- E.2 -- E.3 --
Нижній перехідний Ph _{2к}	A.1 -- A.2 -+	B.1 -- B.2 -+ B.3 --	C.1 -- C.2 --	D.1.1 -+ D.2.2 ++	E.1 -- E.2 -- E.3 --
Чорноземи південні					
Гумусовий Н _к	A.1 +- A.2 --	B.1 ++ B.2 -- B.3 --	C.1 ++ C.2 ++	D.1.1 ++ D.2.2 +-	E.1 ++ E.2 ++ E.3 ++
Гумусовий перехідний Н _{рк}	A.1 ++ A.2 ++	B.1 +- B.2 +- B.3 -+	C.1 +- C.2 +-	D.1.1 ++ D.2.2 ++	E.1 +- E.2 +- E.3 +-
Верхній перехідний Ph _{1к}	A.1 -+ A.2 +-	B.1 -+ B.2 ++ B.3 ++	C.1 -+ C.2 -+	D.1.1 +- D.2.2 ++	E.1 -- E.2 -- E.3 --
Нижній перехідний Ph _{2к}	A.1 -- A.2 -+	B.1 -- B.2 -+ B.3 --	C.1 -- C.2 --	D.1.1 -+ D.2.2 +-	E.1 -- E.2 -- E.3 --

Примітка: індекси ПГХБ наведені в рис. 2. «+++» – максимальна дія ПГХБ, «+ -» – дія ПГХБ знаходиться на рівні 75% від максимального можливого, «- +» – дія ПГХБ знаходиться на рівні 25% від максимального можливого, «-» – дія ПГХБ відсутня.

Механічний тип ПГХБ має ще один механізм дії, який зумовлюється «ефектом маршруту» – здатністю ґрунтів затримувати дрібні частинки у разі їх потрапляння в тупики капілярів або в результаті їх седиментації на окремих ділянках руху ґрунтової вологи (Рис. 2). Ми припускаємо, що маршрутний клас бар'єрів має максимально можливий вплив на міграцію речовин, починаючи з гумусного перехідного горизонту. Надалі, з глибиною, відбувається поступове згасання інтенсивності дії цього бар'єру у профілі чорноземів звичайних.

Фізико-хімічний тип ПГХБ тісно пов'язаний з головними «сорбентами» ґрунту – гуматами та глинистими мінералами, а також з оксидами/гідроксидами Al, Fe, Mn. Тому закономірності їх розподілу в профілі чорноземів звичайних і визначають особливості дислокації цього бар'єра. Гуматно-сорбційний клас бар'єру має максимальний прояв у гумусовому горизонті, де найбільший вміст гумітів. З глибиною відбувається поступове згасання інтенсивності його дії.

Як відомо, в поверхневому горизонті глинисті мінерали та оксиди / гідроксиди Al, Fe, Mn фактично не мають прямого контакту з іонами ґрунтового розчину. Тому що плівка гумусових речовин суцільним шаром покриває всі частинки твердої фази ґрунту. У зв'язку з цим, перша ефективна дія глинисто-сорбційного і гідроксидно-сорбційного бар'єрів починається в гумусовому перехідному горизонті, досягає максимуму в першому перехідному і поступово згасає в другому перехідному горизонті.

Фізико-хімічний тип ПГХБ визначається іонно-обмінними реакціями в системі «ґрунтовий розчин – ґрунтовий вбирний комплекс». При цьому, як індикатор ефекту дії цього типу бар'єру можна використовувати значення вмісту суми обмінних основ. Тому ми припускаємо, що в чорноземах звичайних максимальний вплив цього типу бар'єру простежується в гумусовому горизонті, де вміст обмінних основ максимальний. З глибиною простежується поступове зменшення числових значень цього показника і, отже, відбувається послаблення ефекту дії іонно-обмінного бар'єру ґрунту (табл.). На нашу думку, дотепер немає достатніх підстав чітко і точно виділити результат дії кожного класу фізико-хімічного типу ПГХБ. Це питання вимагає додаткового теоретичного обґрунтування та подальшої практичної перевірки.

Хімічний тип ПГХБ в чорноземах звичайних Криворіжжя має ефективний вплив на ВМ виключно за рахунок карбонатного і лужного підкласів. При цьому дія карбонатного бар'єру

максимально проявляється в гумусовому перехідному горизонті, де зазвичай виявляється лінія скипання від 10% HCl і де, відповідно, максимальна концентрація карбонатів кальцію і магнію. Проте далі за профілем, на нашу думку, відбувається поступове згасання ефективності дії цього підкласу ПГХБ. Лужний бар'єр також починає істотно впливати на міграцію ВМ з гумусового перехідного горизонту. Однак в більш глибоких горизонтах його значущість має зростати (табл.).

Біологічний тип ПГХБ тісно пов'язаний з поширенням живих організмів по ґрунтовому профілю. Тому цілком закономірно, що дія всіх класів цього бар'єру (фіто-, зоо-, і мікробопоглиналих) зосереджена виключно в гумусових горизонтах. При цьому максимальний вплив біологічного бар'єру ґрунту проявляється в поверхневому гумусовому горизонті. Надалі, з глибиною, його інтенсивність закономірно поступово згасає та припиняє свою дію (табл.).

Розподіл ПГХБ за профілем чорноземів південних Криворіжжя в основному повторює загальні закономірності, встановлені нами для чорноземів звичайних (табл.). Виняток становить лише хімічний тип педогеохімічного бар'єру, що зумовлено формуванням цих чорноземів на карбонатних материнських породах. Тому логічно припустити, що дія карбонатного бар'єру в чорноземах південних починається з поверхневого горизонту. При цьому, максимальний його ефект проявляється в гумусових горизонтах: гумусовому і гумусовому перехідному. З глибиною вплив карбонатного бар'єру ґрунту буде поступово зменшуватися. Також слід зазначити, що в чорноземах південних Криворіжжя лужний тип ПГХБ діє по всьому ґрунтовому профілю. Однак в поверхневому гумусовому горизонті його вплив незначний. У той час, як максимальний ефект дії цього бар'єру буде відбуватися в гумусовому перехідному горизонті. Надалі, з глибиною його вплив буде поступово згасати.

Загалом, запропонована нами схема поширення/дислокації ПГХБ у ґрунтовому профілі чорноземів звичайних і чорноземах південних Криворіжжя зумовлена розподілом основних «агентів впливу» бар'єрів і тому пов'язана з їх генетичними горизонтами.

Чорноземи звичайні та чорноземи південні характеризуються аналогічним поширенням ПГХБ в межах ґрунтового профілю. Виняток становить хімічний тип, дія якого у чорноземах південних починається з поверхневих горизонтів. Нами також передбачається, що найбільший ефект дії ПГХБ міграції повинен відбуватися в гумусових горизонтах, а їх

загальний результат дії у чорноземах звичайних дещо вище, ніж в чорноземах південних.

З метою перевірки нашого припущення виконано аналіз розподілу рухомих ВМ (Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Pb, Cd) в профілі чорноземів Криворіжжя з використанням значень коефіцієнтів контрастності (рис. 3).

При цьому слід зазначити, що для отримання екстрактів рухомих форм металів зразки ґрунту

попередньо оброблялися однонормальною нітратною кислотою при температурі 100 С (Савосько, 2009; Савосько, 2016). Коефіцієнт контрастності розраховували як відношення вмісту металу в окремому шарі ґрунтового профілю до його кількості у ґрунотвірній породі (Savosko, 2019).

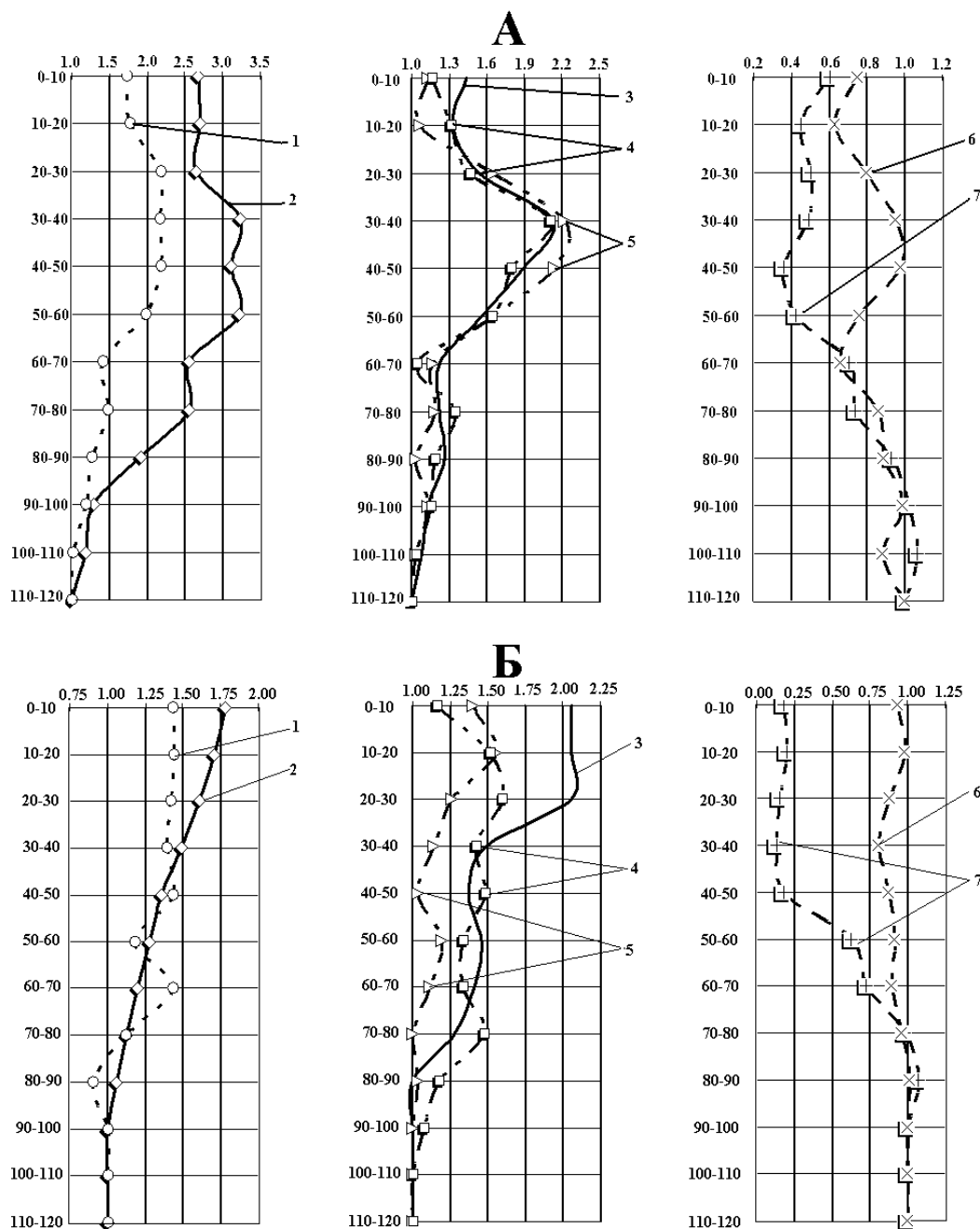


Рис. 3. Розподіл важких металів в профілі чорноземів Криворіжжя за коефіцієнтами концентрації

Fig. 4. Heavy metals distribution in Chernozems profile at Kryvorizhya by Concentration Coefficients

Вісь абсцис - коефіцієнти концентрації; вісь ординат - глибина, см; А - чорноземи звичайні, Б - чорноземи південні; 1 – Fe, 2 – Mn, 3 – Zn, 4 – Ni, 5 – Cu, 6 – Pb, 7 – Cd

Axis abscissa – concentration coefficients; axis ordinate – depth, cm; A – Chernozems ordinary, B – Chernozems southern; 1 - Fe, 2 - Mn, 3 - Zn, 4 - Ni, 5 - Cu, 6 - Pb, 7 - Cd.

Аналіз отриманих результатів показав, що максимальні концентрації рухомих форм Fe та Mn в чорноземах звичайних, також Fe, Mn, Zn та Cu в чорноземах південних виявлені, як і прогнозувалося, в поверхневому гумусовому горизонті. При цьому числові значення коефіцієнтів концентрації ВМ в чорноземах звичайних вище, у порівнянні з чорноземами південними (рис. 3). Ці факти підтверджують наше попереднє припущення щодо закономірностей дії ПГХБ в чорноземах Криворіжжя.

Одночасно наші передбачення дещо і не виправдалися – не для всіх металів виявлено їх нагромадження у ґрунтовому профілі чорноземів Криворіжжя. Вилуговування, особливо у гумусових горизонтах, характерне для Pb та Cd. Цей факт, на нашу думку, зумовлений а-біофільністю цих металів. Так, за результатами дослідження (Дмитрук та Бербець, 2009; Рудишин, 2013; Bradl, 2005; Lado et al, 2008) не встановлено істотного біологічного значення для живих організмів а ні у Pb, а ні у Cd. В той час, як їх токсична дія на живі організми є загальновизнаною (Esmaeili et al, 2014; Kampouroglou and Economou-Eliopoulos, 2016; Karczewska and Weber, 2004; Rocaab et al, 2012).

Дуже цікавим виявився факт максимальної концентрації окремих ВМ в гумусовому перехідному горизонті чорноземів звичайних Криворіжжя. При цьому можна припустити, що це явище є результатом інтегрального впливу ПГХБ. В цьому горизонті дещо зменшується концентрація гумусу та дія гуматно-сорбційного бар'єру. Одночасно в ньому збільшується вміст карбонатів та значення лужності ґрунтового розчину, а також посилюється дія глинистого та гідроксидно-сорбційного бар'єрів.

Висновки. Педогеохімічний бар'єр – це частина ґрунтового горизонту або ґрунтового профілю, де спостерігається значна концентрація окремих хімічних елементів як наслідок субстанційно-реакційного феномену. Ці бар'єри упорядковуються в п'ять типів: механічний, фізичний, фізико-хімічний, хімічний та біологічний. Максимально простим в розрахунку і достатньо інформаційним їх показником є коефіцієнт контрастності.

Поширення педогеохімічних бар'єрів в чорноземах Криворіжжя (звичайних та південних) зумовлюється особливостями розподілу їх провідних агентів впливу (компонентів ґрунту): гумусу, глини, колоїдів, а також карбонатів. В чорноземах звичайних найбільш інтенсивно педогеохімічні бар'єри діють в гумусовому перехідному та гумусовому акумулятивному горизонтах. В чорноземах

південних – в гумусовому акумулятивному горизонті.

В подальших дослідженнях доцільно розглянути екзогенні та ендогенні фактори ефективності педогеохімічних бар'єрів.

Список літератури:

1. Алексеенко В. А., Алексеенко Л. П. Геохимические барьеры. – Москва: Логос, 2003. – 144 с.
2. Гедройц К. К. Учение о поглотительной способности почв // Избранные сочинения в трех томах. Том первый. – Москва: Издательство сельскохозяйственной литературы, 1955. – С. 241–384.
3. Глазовская М. А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. – Москва: Высшая школа, 1988. – 328 с.
4. Дмитрук Ю. М., Бербець М. А. Основи біогеохімії. – Чернівці: Книги–XXI, 2009. – 288 с.
5. Дмитрук Ю. М. Еколого еволюційна методика оцінки фонового вмісту мікроелементів у ґрунтах. – Чернівці: Чернівецький національний університет, 2016. – 208 с.
6. Дмитрук Ю. М. Окремі аспекти багатовимірної аналізу еволюції еколого-геохімічного статусу ґрунтів // Ґрунтознавство. – 2016. – Том. 17, по. 3–4. – С. 15-22. Doi: 10.15421/041610.
7. Добровольский Г. В., Никитин Е. Д. Экология почв. – Москва: Издательство МГУ, 2006. – 476 с.
8. Доліна О. О., Сметана О. Н. Територіальна структура та класифікація ґрунтів Криворізького залізорудного басейну // Вісник Дніпропетровського університету. Біологія, екологія. – 2014. – Том 22, по. 2. – С. 161-168. Doi:10.15421/011423.
9. Максимович Н. Г., Хайрулина Е. А. Геохимические барьеры и охрана окружающей среды. – Пермь: Пермский государственный университет, 2011. – 248 с.
10. Медведєв В. В. Методологія ефективного моніторингу ґрунтового покриву (на основі аналізу 25-річного Європейського досвіду) // Ґрунтознавство. – 2016. – Том 17, по. 3–4. – С. 5-14. Doi: 10.15421/041609.
11. Минкина Т. М., Мотузова Г. В., Назаренко О. Г. Состав соединений тяжелых металлов в почвах. – Ростов-на-Дону: Издательство «Эверест», 2009. – 208 с.
12. Мірошніченко М. М., Куц О. А. Селективність поглинання важких металів ґрунтом та гуміновими кислотами за різних рівнів рН // Ґрунтознавство. – 2016. – Том. 17, по. 1–2. – С. 74-82. Doi: 10.15421/041607.
13. Мотузова Г. В. Соединения микроэлементов в почвах: системная организация, экологическое значение, мониторинг. – Москва: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 168 с.
14. Перельман А. И. Геохимия элементов в зоне гипергенеза. – Москва: Недра, 1972. – 288 с.
15. Перельман А. И. Геохимия. – Москва: Высшая школа, 1989. – 528 с.
16. Позняк С. П. Актуальні та дискусійні проблеми сучасного ґрунтознавства і географії ґрунтів // Вісник Одеського національного університету. Серія:

- Географічні та геологічні науки. – 2017. – Т. 22, вип. 1. – С. 126-127.
17. Рудишин С. Д. Основи біогеохімії. – Київ: Академія, 2013. – 248 с.
 18. Савосько В. Н. Локальное фоновое содержание тяжелых металлов в почвах Криворожского железорудного региона // Грунтознавство. – 2009. – Том 10, no. 3-4. – С. 64-73.
 19. Савосько В. М. Ґрунтовий покрив Криворіжжя // Фізична географія Криворіжжя. – Кривий Ріг: Видавець Роман Козлов, 2015. – С. 133-150.
 20. Савосько В. Н. Тяжелые металлы в почвах Кривбасса. – Кривой Рог: Издательство «Діонат», 2016. – 288 с.
 21. Савосько В. М. Генезис ідеї та дефініція педогеохімічних бар'єрів міграції важких металів // Грунтознавство. – 2017. – Том 17, no. 3-4. – С. 21-29. Doi: 10.15421/041712.
 22. Савосько В. М. Класифікація педогеохімічних бар'єрів міграції важких металів // Агрохімія та ґрунтознавство. – 2018. – в печаті.
 23. Самохвалова В. Л., Скрильник Є. В., Лопушняк В. І., Шедєй Л. О., Самохвалова П. А. Прогнозування рівнів вмісту хімічних елементів у ґрунтах різного генезису для оцінки еколого-енергетичного статусу // Грунтознавство. – 2016. – Том 17, no. 3-4. С. 23-42. Doi: 10.15421/031611.
 24. Черноземы СССР (Украина) / под редакцией В. М. Фридланда, И. И. Лебедевой, Т. П. Коковиной, В. Д. Кисель. – Москва: Колос, 1981. – 256 с.
 25. Чертко Н. К., Чертко Э. Н. Геохимия и экология химических элементов. – Минск: Издательский центр БГУ, 2008. – 140 с.
 26. Bradl H. B. Heavy Metals in the Environment: Origin, Interaction and Remediation. – Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2005. – 283 pp.
 27. Esmaeili A., Moore F., Keshavarzi B., Jaafazdeh N., Kermani M. A geochemical survey of heavy metals in agricultural and background soils of the Isfahan industrial zone, Iran // Catena. – 2014. – Vol. 121. – P. 88-98. Doi.org/10.1016/j.aterna.2014.05.003.
 28. Kampouroglou E. E., Economou-Eliopoulos M. Assessment of the environmental impact by As and heavy metals in lacustrine travertine limestone and soil in Attica, Greece: Mapping of potentially contaminated sites // Catena. – 2016. – Vol. 139. – P. 137-166. Doi.org/10.1016/j.aterna.2015.12.009.
 29. Karczewska A., Weber J. Biogeochemical processes and the role of heavy metals in the soil environment // Geoderma. – 2004. – Vol. 122, is. 2-4. – P. 105-107. Doi:10.1016/j.geoderma.2004.01.001.
 30. Lado L. R., Hengl T., Reuter H. Heavy metals in European soils: a geostatistical analysis of the FOREGS Geochemical database // Geoderma. – 2008. – Vol. 148, is. 2. – P. 189-199. Doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.09.020.
 31. Madrid L. «Heavy metals»: reminding a long-standing and sometimes forgotten controversy // Geoderma. – 2010. – Vol. 155, is. 1-2. – P. 128-129. Doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.11.031.
 32. Maximovich N., Khayrulina E. Artificial geochemical barriers for environmental improvement in a coal basin region // Environmental Earth Science. – 2014. – N 72. – P. 1915-1924.
 33. Rocaab N., Pazosb M. S., Becha J. Background levels of potentially toxic elements in soils: a case study in Catamarca (a semiarid region in Argentina) // Catena. – 2012. – Vol. 92. – P. 55-66. Doi.org/10.1016/j.aterna.2011.11.009.
 34. Savosko V. M. Indicators for pedogeochemical barriers of heavy metals migration // Fundamental and applied soil science. – 2019. – Vol. 19(1). – P. 15-21. doi: 10.15421/041903
 35. Sposito G. The Chemistry of Soils. – New York: Oxford University Press, 2008. – 342 pp.
 36. Tan K. H. Principles of soil chemistry. – New York: Marcel Dekker Inc, 1982. – 586 pp.

References:

1. Alekseenko V. A., Alekseenko L. P. *Geochemical barriers*. Moscow, Logos; 2003. (in Russian).
2. Gedroyts K. K. The doctrine of the absorption capacity of soils. In *Selected works in three volumes volume one*. Moscow, Agricultural Literature Publishing House; 1955: 241-384. (in Russian).
3. Glazovskaya M. A. *Geochemistry of natural and man-made landscapes of the USSR*. Moscow, Vysshaya shkola; 1988. (in Russian).
4. Dmytruk Yu. M., Berbets M. A. *Bases of biogeochemistry*. Chernivtsi, Books-XXI; 2009. (in Ukraine).
5. Dmitruk Y. M. *Ecological evolutionary technique for evaluating the background content of trace elements in soils*. Chernivtsi, Chernivtsi National University; 2016. (in Ukraine).
6. Dmytruk Y. M. Some aspects of a multidimensional analysis of the evolution of ecological-geochemical soil state. *Gruntoznastvo (Soil Science)*. 2016; 17(3-4): 15-22. Doi: 10.15421/041610 (in Ukraine).
7. Dobrovolsky G. V., Nikitin E. D. *Soil Ecology*. Moscow, Publishing House of Moscow State University; 2006. (in Russian).
8. Dolina O. O., Smetana O. M. Territorial pattern and classification of soils of Kryvyi Rih Iron-Ore Basin. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, ecology*. 2014; 22 (2): 161-168. Doi:10.15421/011423. (in Ukrainian).
9. Maksimovich N. G., Hayrulina E.A. *Geochemical barriers and environmental protection*. Perm, Perm State University; 2011. (in Russian).
10. Medvedev V. V. Methodology of effective monitoring of a soil cover (on the basis of the analysis of 25-years European experience). *Gruntoznastvo (Soil Science)*. 2016; 17(3-4): 5-14. Doi: 10.15421/041609. (in Ukraine).
11. Minkina T. M., Motuzova G. V., Nazarenko O. G. *Composition of heavy metal compounds in soils*. Rostov-on-Don, Everest Publishing House; 2009. (in Russian).
12. Miroshnychenko N. N., Kutz O. A. Selective absorption of heavy metals by soil and humic acids at different pH levels. *Gruntoznastvo (Soil Science)*. 2016; 17(1-2): 74-82. Doi: 10.15421/041607. (in Ukraine).
13. Motuzova G. V. The compounds of trace elements in soils: system organization, ecological significance,

- monitoring. Moscow, Book House «Librocom»; 2009. (in Russian).
14. Perelman A. I. *Geochemistry of elements in the hypergenesis zone*. Moscow, Nedra; 1972. (in Russian).
 15. Perelman A. I. *Geochemistry*. Moscow, Higher school; 1989. (in Russian).
 16. Pozniak S. P. Actual and controversial problems of modern soil science and geography of soil. *Odesa National University Herald. Geography and Geology*. – 2017; 22(1): 126-127. (in Ukraine).
 17. Rudyshyn S. D. *Bases of biogeochemistry*. Kyiv, Academy; 2013. (in Ukraine).
 18. Savosko V. M. The heavy metals local background consents in soils at Kryvyi Rih iron ore region. *Gruntoznavstvo (Soil Science)*. 2009; 10(3-4): 64-73. (in Russian).
 19. Savosko V. M. The Soil Cover at Kryvorizhzhya. In *Physical geography of Kryvorizhzhya*. Kryvyi Rih, Publisher Roman Kozlov; 2015: 133-150. (in Ukrainian).
 20. Savosko V. M. *Heavy metals in soils at Kryvbas*. Kryvyi Rih, Dionat; 2016. (in Russian).
 21. Savosko V. M. Genesis'idea and definition for pedogeochemical barriers of heavy metals'migration. *Gruntoznavstvo (Soil Science)*. 2017; 17(3-4): 21-29. Doi: 10.15421/041712 (in Russian).
 22. Savosko V. M. Classification of pedogeochemical barriers for heavy metals'migration. *Agrohimiya i gruntoznavstvo (Agrochemistry and soil science)*. 2018; in print (in Russian).
 23. Samokhvalova V. L., Skrylnyk Y. V., Lopushnyak V. I., Shedy L. O., Samokhvalova P. A. Forecasting the levels of chemical elements content in soils of different genesis for the assessment of their eco-energy status. *Gruntoznavstvo (Soil Science)*. 2016; 17(3-4): 23-42. Doi: 10.15421/031611. (in Ukraine).
 24. *Chernozems of the USSR (Ukraine)* / edited by V. M. Friedland, I. I. Lebedeva, T. P. Kokovina, V. D. Kissel. Moscow, Kolos; 1981. (in Russian).
 25. Chertko N. K., Chertko E. N. *Geochemistry and ecology of chemical elements*. Minsk, Publishing Center of the BSU; 2008. (in Russian).
 26. Bradl H. B. *Heavy Metals in the Environment: Origin, Interaction and Remediation*. Amsterdam, Elsevier Academic Press; 2005.
 27. Esmaeili A., Moore F., Keshavarzi B., Jaafazdeh N., Kermani M. A geochemical survey of heavy metals in agricultural and background soils of the Isfahan industrial zone, Iran. *Catena*. 2014; 121: 88-98. Doi.org/10.1016/j.aterna.2014.05.003.
 28. Kampouroglou E. E., Economou-Eliopoulos M. Assessment of the environmental impact by As and heavy metals in lacustrine travertine limestone and soil in Attica, Greece: Mapping of potentially contaminated sites. *Catena*. – 2016; 139: 137-166. Doi.org/10.1016/j.aterna.2015.12.009.
 29. Karczewska A., Weber J. Biogeochemical processes and the role of heavy metals in the soil environment. *Geoderma*. 2004; 122(2-4): 105-107. Doi:10.1016/j.geoderma.2004.01.001.
 30. Lado L. R., Hengl T., Reuter H. Heavy metals in European soils: a geostatistical analysis of the FOREGS Geochemical database. *Geoderma*. 2008; 148(2): 189-199. Doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.09.020.
 31. Madrid L. «Heavy metals»: reminding a long-standing and sometimes forgotten controversy. *Geoderma*. 2010; 155(1-2): 128-129. Doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.11.031.
 32. Maximovich N., Khayrulina E. Artificial geochemical barriers for environmental improvement in a coal basin region. *Environmental Earth Science*. 2014; 72: 1915-1924.
 33. Savosko V. M. Indicators for pedogeochemical barriers of heavy metals'migration. *Fundamental and applied soil science*. 2019, 19(1), 15–21. doi: 10.15421/041903
 34. Sposito G. *The Chemistry of Soils*. New York, Oxford University Press; 2008.
 35. Tan K. H. *Principles of soil chemistry*. New York, Marcel Dekker Inc; 1982.

PEDOGEOCHEMICAL BARRIERS OF HEAVY METALS'MIGRATION DISTRIBUTION IN CHERNOZEMS SOIL PROFILE AT KRYVORIZHZHYA

V.M. Savosko

The basic regularities of the distribution of heavy metals'migration pedogeochemical barriers in soil profile of the chernozems ordinary and southern at Kryvyi Rih mining and metallurgical regions were analyzed. It was pointed out that heavy metals'migration pedogeochemical barriers is a part of the soil horizon or soil profile, where there is a significant concentration of individual chemical elements as a consequence of the substitution-reaction phenomenon. Pedogeochemical barriers are classified into five types: mechanical, physical, physical and chemical, chemical and biological. The spread of pedogeochemical barriers in Chernozem is determined by the peculiarities of distribution of their leading components: humus, clay, colloids, and carbonates. According to the coefficients of concentration, the maximum content Fe and Mn in chernozems ordinary and Fe, Mn, Zn and Cu in chernozems southern was found in the surface humus-accumulative horizon. In addition, the action of heavy metals'migration pedogeochemical barriers can be considered as leaching of metals such as: Pb and Cd, which is due to these metals a-biofilm. In chernozems ordinary, the most intensively pedogeochemical barriers act in the humus transitional and humus cumulative horizons. In chernozems southern, the pedogeochemical barriers act most intensively in the humus accumulative horizon.

Keywords: pedogeochemical migration barriers, heavy metals, soil, Krivorizhzhya

Отримано редколегією 05.12.2019