

БОНІТУВАННЯ ТЕХНОГЕННО НАВАНТАЖЕНИХ ҐРУНТІВ УРБООКОСИСТЕМ

Яковишина Т. Ф.

ВСТУП

У межах урбоекосистеми головною ланкою підтримки гомеостазу виступають ґрунти, адже саме вони зумовлюють продуктивність і стійкість зелених насаджень, беруть участь у ремедіації різноманітних забруднювачів навколишнього середовища, сприяють очищенню приземного шару атмосферного повітря та поверхневих вод, формують мікроклімат, забезпечують геостабілізацію, виступають джерелом біофільних елементів та макроенергетичних сполук¹. Екологічний стан ґрунтів урбоекосистем потребує особливої уваги, адже вплив транспорту, промисловості, будівництва спричиняє постійне техногенне навантаження на всі складники ґрунтової системи в межах міста, що відбивається на її водно-фізичних та агрохімічних властивостях, водному та повітряному режимах, а це своєю чергою призводить до втрати ґрунтом здатності виконувати свої екологічні функції, головною з яких є родючість, щодо забезпечення рослини достатньою кількістю поживних елементів та створення комфортних умов для їх існування.

Оцінювання міських ґрунтів щодо виконання ними своїх функцій стосовно рослин виступає передумовою забезпечення екологічної безпеки техногенно навантажених урбоекосистем. Бонітування як інвентаризація показників їх екологічних властивостей сприяє всебічному об'єктивному оцінюванню якісного і функціонального стану міських ґрунтів за умов розбудови і функціонування урбанізованих територій. Врахування значень бонітету в процесі здійснення оцінювання земельних ресурсів має вагоме науково-практичне значення в умовах формування ринку землі з огляду на екологічні пріоритети.

Порівняльний аналіз методик оцінювання бонітету міських ґрунтів проводили на прикладі урбоекосистеми м. Дніпро. Антропогенний вплив на зональні ґрунти – чорноземи звичайні призвів до утворення в її межах урбаноземів перемішаного, насипного та агрогенного типів – висотна забудова та приватний сектор, а також техноземів – у межах санітарно-захисних зон промислових підприємств, екраноземів – ґрунтів, запечатаних асфальто-дорожнім покриттям.

¹ Смага И.С. Методологические основы бонитетной оценки почв и их усовершенствование. *Ґрунтознавство*. 2013. Том. 14, № 3-4. С. 63–75.

1. Бонітування ґрунтів за існуючими методиками

Ідея оцінювання якості ґрунтів шляхом їх бонітування належить В.В. Докучаєву, який наголошував на необхідності попереднього їх розподілу за класами та типами як обов'язкової умови бонітування, адже ґрунти різних природно-кліматичних зон істотно відрізняються за родючістю. Згідно з підходами, прийнятими в Європі та США, оцінювання якості ґрунту здійснюється за показниками що відповідає за його родючість, проте вони значною мірою відрізняються у країнах². В Україні створення наукових основ бонітування стосувалось переважно ґрунтів сільськогосподарського призначення та було пов'язано з дослідженнями В.П. Кузьмичова, С.С. Соболева, О.І. Зражевського, І.І. Карманова.

Нині є кілька досить вдалих методик бонітування, проте вони ґрунтуються на різних підходах щодо вибору діагностичних ознак у процесі здійснення оцінювання ґрунтів, а це своєю чергою значною мірою утруднює їх практичне використання^{3,4,5,6}. Так, за методикою А.І. Сірого (1981), діагностичними критеріями якості ґрунту виступають найважливіші фізико-хімічні властивості при врахуванні екологічних умов і технологічної якості земель⁷. У методиці, запропонованій ННЦ «Інститут ґрунтознавства і агрохімії ім. О.Н. Соколовського», більшою мірою розкрито потенційну та ефективну родючість ґрунту завдяки використанню 16 показників, серед яких вміст гумусу і гранулометричний склад, які зумовлюють структуру, щільність складення ґрунту, рН ґрунтового середовища, а також показники водного, теплового та поживного режимів. Зазначені методики широко використовуються для оцінювання ґрунтів сільськогосподарського призначення, проте в умовах формування ринку землі при дотриманні вимог екологічної безпеки необхідно визначити родючість міських ґрунтів, адже саме вони виступають базисом підтримки гомеостазу урбоекосистеми. Крім того, проблема полягає в тому, що в умовах

² Verheye W.H. Use of land evaluation techniques to assess the market value of agricultural land. *Agropedology*. 2000. № 10. P. 88–90.

³ Медведєв В.В., Плisko I.B. Бонітування ґрунтів в Україні: підсумки і перспективи. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Сер. Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство, екологія ґрунтів*. 2011. № 1. С. 22–28.

⁴ Карманов И.И., Булгаков Д.С., Шишконокова Е.А. Система оценки природно-антропогенных воздействий на изменение плодородия почв пахотных земель на основе почвенно-агроклиматического индекса. *Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева*. 2013. Вып. 72. С. 65–83.

⁵ Канаш О.П. Бонітування ґрунтів: пропонуються зміни, чого вони варті? *Землевпорядний вісник*. 2008. № 5. С. 46–50.

⁶ Плisko I.B. Просторово-диференційована система управління якістю ґрунтів (на прикладі ріллі України) : автореф. дис. ... докт. сіл.-госп. наук : 06.01.03 «Агроґрунтознавство і агрофізика». 2019. 49 с.

⁷ Серый А.И. К методике бонитировки почв на агроэкологической основе. *Почвоведение*. 1981. № 7. С. 5–17.

урбоєкосистеми на тлі зонального ґрунту в результаті впливу антропогенної діяльності та техногенного навантаження внаслідок стаціонально-деструктивного та інгредієнтного забруднення сформувались специфічні ґрунтоподібні утворення, які дещо не підпадають під класичне визначення ґрунту. Керуючись класифікацією міських ґрунтів на території урбоєкосистеми м. Дніпро були виділені екраноземи, техноземи та урбаноземи різних типів.

Антропогенні глибоко перетворені ґрунти утворювали групу безпосередньо міських ґрунтів – урбаноземів, в яких у горизонті «урбик» потужність становила понад 50 см. Вони характеризувались фізико-механічною перебудовою ґрунтового профілю та сформувалися завдяки процесам урбанізації на культурному шарі або на насипних, наливних і перемішаних ґрунтах. Технозем являв собою штучно створений ґрунт, який був наслідком цілеспрямованого конструювання субстрату для санітарно-захисної зони південно-західної групи промислових підприємств м. Дніпро. На його поверхні знаходились включення техногенного походження в значній кількості, які, за класифікацією Ґрунтового інституту ім. В.В. Докучаєва, можна було визначити як артиндустрати – малотоксичні відходи промислової переробки природних матеріалів, приміром шлак, зола, тощо. Екранозем був запечатаний асфальто-дорожнім покриттям, істотно ущільненим зі зміненими водним, тепловим і газовим режимами.

Для оцінювання бонітету міських ґрунтів серед класичних методик бонітування була вибрана методика ЦНДІАО як найбільш широко апробована, що ґрунтується на основних показниках мінерального живлення рослин.

Відносний бал родючості ґрунтів розраховували за показниками: гідролітична кислотність, вміст гумусу, фосфору, калію, кальцію, магнію, сума поглинених основ.

Гумус відіграє одну із визначальних ролей у формуванні родючості: більш гумусований ґрунт володіє кращими фізико-механічними і технологічними властивостями, органічна речовина забезпечує створення оптимальних параметрів повітряно-теплового, поживного, водного і санітарного режимів, буферності ґрунту щодо техногенного навантаження⁸.

Макроелемент фосфор, виступаючи компонентами нуклеїнових кислот, фосфоліпідів, АТФ, тісно пов'язаний зі всіма перетвореннями енергії в клітині рослини, проте в багатьох типах ґрунтів він знаходиться

⁸ Труфанов А.М. Роль гумуса дерновоподзолистой глееватой почвы в изменении показателей её общей токсичности и урожайности яровой пшеницы. *Вестник АПК Верхневолжья*. 2018. № 4(44). С. 9–14.

в слабкодоступних мінеральних та органічних формах, що позначається на рості і розвитку рослин^{9, 10}.

Калій впливає, насамперед, на посилення гідратації колоїдів цитоплазми, підвищуючи ступінь їх дисперсності, що допомагає рослині краще переносити стрес внаслідок посухи, а це є вкрай актуальним в умовах міста, де внаслідок утворення «островів тепла» температура вища на 3–5 °С, порівняно до неурбанізованих територій.

Кальцій відповідає за розвиток кореневої системи, сприяючи формуванню розгалуженої кореневої системи, збільшенню кількості корневих волосків, отже, більш інтенсивному поглинанню води та поживних елементів із ґрунту. Кальцій покращує синтез хлорофілу, активує ферменти, підсилює обмін речовин, позитивно впливає на процес перетворення азотовмісних сполук у рослинах¹¹.

Магній впливає на всі процеси в клітинах рослин, в яких відбувається передача хімічної енергії або її накопичення: фотосинтез, дихання, гліколіз тощо. Він не тільки бере участь в синтезі вуглеводів, а й забезпечує їх транспортування в підземну частину рослини, завдяки чому формується добре розвинена коренева система¹².

Поглиналина здатність ґрунту сприяє утриманню поживних елементів, обмінні катіони є одними із безпосередніх джерел елементів мінерального живлення рослин.

Спочатку визначали бал родючості ґрунтів за кожним показником, за винятком гідролітичної кислотності при рН вище оптимуму, керуючись формулою (1.1):

$$B_{\Pi} = \frac{X}{A} \cdot 100, \quad (1.1)$$

де B_{Π} – відносний бал показника родючості ґрунтів, X – фактичне значення агрохімічного показника, A – оптимальне значення агрохімічного показника.

Для гідролітичної кислотності та за умов рН вище оптимуму застосовували формулу (1.2):

$$B_{Hr(pH)} = \frac{100 \cdot H_r(pH)_{opt}}{H_r(pH)}, \quad (1.2)$$

де $H_{r_{opt}}$ – оптимальне значення кислотності; H_r – фактичне значення кислотності.

⁹ Швартау В.В., Гуляев Б.И., Карлова А.Б. Особенности реакции растений на дефицит фосфора. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2009. Т. 41, № 3. С. 208–213.

¹⁰ Theodorou M.E., Flaxton W.C. Metabolic adaptation of plant respiration to nutritional phosphate deprivation. *Plant Physiology*. 1993. Vol. 101. P. 339–344.

¹¹ Швартау В.В., Вирыч П.А., Маковейчук Т.И., Артеменко А.Ю. Кальций в растительных клетках. *Вісник Дніпропетровського національного університету. Сер. Біологія та екологія*. 2014. № 22(1). С. 19–32.

¹² Торохова О.Н., Агурова И.В. Оценка пригодности пород промышленных отвалов Донбасса для произрастания растений. *Промышленная ботаника*. 2008. Вып. 8. С. 12–16.

Потім встановлювали сумарний оціночний бал основних показників:

$$B_1 = \frac{B_{pH} + B_{\Gamma} + B_{P_2O_5} + B_{K_2O} + N_{п.о.}}{m}, \quad (1.3)$$

де m – кількість показників, що враховуються.

Згодом розраховували оцінний бал супутніх показників:

$$B_2 = \frac{B_{Ca} + B_{Mg}}{m}, \quad (1.4)$$

Відносний бал родючості ґрунтів визначали за формулою (1.5):

$$B = 0,5 \cdot (B_1 + B_2), \quad (1.5)$$

Ґрунти, що сформувались у межах міста (техноземи, екраноземи, урбаноземи різних типів), хоча й несли ознаки зонального чорнозему звичайного, в результаті впливу будівельної діяльності згідно зі значеннями показника B частково втратили свою родючість (табл. 1). Щодо основних показників родючості негативний вплив від будівництва проявився через порушення ґрунтового профілю, перемішування родючого верхнього шару ґрунту з нижніми підстилаючими породами, привнесення будівельного сміття, внаслідок чого відбулось розбавлення концентрації поживних елементів у верхньому кореневмісному шарі ґрунту. Коливання значень рН у різних типів ґрунтових утворень у межах міста пояснювались переважанням одного з різнонаправлених процесів: лужність зумовлювалась наявністю значної кількості решток будівельного сміття, що містили карбонати кальцію, а підкислення ґрунтового середовища – осадженням фізіологічно кислих випадів на поверхню ґрунту при функціонуванні урбоєкосистеми.

Таблиця 1

Оцінка якості ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро згідно зі значенням бонітету за методикою ЦНДІАО

| Ґрунт | Бонітет (Б), бали | Клас, характеристика якості |
|-----------------------------|-------------------|-----------------------------|
| Урбанозем перемішаного типу | 79,4 | III, висока якість |
| Урбанозем насипного типу | 80,0 | III, висока якість |
| Урбанозем агрогенного типу | 91,5 | I, дуже висока якість |
| Технозем | 69,0 | IV, висока якість |
| Екранозем | 85,5 | II, дуже висока якість |

Варто звернути увагу, що міські ґрунти потерпають не тільки внаслідок трансформації ґрунтового профілю в результаті впливу будівельної діяльності, а зазнають також інших впливів, серед яких найбільш вагомим є техногенне навантаження внаслідок забруднення

екологічно небезпечними сполуками металів, які надходять до ґрунту з викидами автотранспорту та промислових підприємств, проте класична методика цього не враховує. Методика ЦНДІАО добре зарекомендувала себе тільки для потреб сільського господарства, де основну увагу приділяють нестачі елементів мінерального живлення, а, приміром, забруднення металами майже не відчутне.

Розробка методики бонітування антропогенно трансформованих ґрунтів ускладнюється широким спектром впливів господарської діяльності, що позначається різноспрямованістю промислових виробництв (гірничо-видобувні, хімічні, металургійні тощо), на яку накладається будівництво та транспорт.

Щодо техноземів, сформованих у процесі гірничо-видобувних робіт під час розроблення корисних копалин, Р.М. Панасом та С.М. Маланчуком (2013) було запропоновано доповнити класичну методику діагностичними показниками походження ґрунтів, зокрема їх генетико-морфологічної будови¹³ і зорієнтувати її виключно на порушені ґрунти, що потребують рекультивації.

Спроба врахування еколого-токсикологічного стану ґрунтів у процесі визначення бонітету була здійснена О.А. Іванцовою та А.Н. Водолазко (2019)¹⁴, проте в їх методиці не має єдиної думки, за якими формами металів треба проводити оцінювання – за їх загальною кількістю, використовуючи валовий вміст, чи сполуками, здатними до мігрування (ААБ, рН 4,8), як такими, що спричиняють реальну екологічну небезпеку.

Відносно урбаноземів Т.І. Долговою (2009) була запропонована методика бонітування, яка враховує не тільки потенційні можливості ґрунтів та їх реалізацію в конкретних екологічних умовах через показники мінерального живлення рослин, але й характер фонового техногенного навантаження внаслідок дисбалансу вмісту металів, а також рівень засолення¹⁵. Так, до формули визначення бонітету були введені показники коефіцієнту дисбалансу за N, P, K ($C_{D\text{ НРК}}$) та інтегрального показника екологічного напруження ґрунтів (ПЕН_M), після підстановки яких вона отримала такий вигляд (1.6)

$$B_e = \frac{B_r + B_{\text{по}}}{C_{D\text{ НРК}} + \text{ПЕН}_M} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{\frac{X_i}{X_{\text{опт}}} + \frac{Y_i}{Y_{\text{опт}}}}{\left| \frac{C_i}{C_{\text{ф}}} - 1 \right| + \left(\left| \frac{P_i}{P_{\text{ф}}} - 1 \right| + \left| \frac{K_i}{K_{\text{ф}}} - 1 \right| \right)} \right], \quad (1.6)$$

¹³ Панас Р.М., Маланчук М.С. Особливості бонітування техногенних ґрунтів. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2013. Вип. 77. С. 74–80.

¹⁴ Іванцова Е.А., Водолазко А.Н. Влияние загрязнения почв сельскохозяйственных земель тяжелыми металлами на их бонитировочную оценку (на примере Волгоградской области). *Проблемы региональной экологии*. 2019. № 4. С. 111–115.

¹⁵ Долгова Т.І. Екологічна безпека ґрунтів у гірничодобувних районах : монографія. Дніпропетровськ : НГУ, 2009. 270 с.

де B_e – екологічний бонітет ґрунтів, B_z – відносний бал вмісту гумусу в ґрунтах, B_{no} – відносний бал співвідношення поглинутих основ, $C_{D\text{NPK}}$ – коефіцієнт дисбалансу з основних елементів живлення (N, P, K), ПЕН_M – інтегральний показник екологічного напруження ґрунтів із пріоритетних металів, X_i – вміст гумусу в техногенних ґрунтах, X_{opt} – вміст гумусу, оптимальне для цього типу ґрунтів, Y_i – співвідношення поглинутих основ $(Ca^{2+} + Mg^{2+}) / Na^+$ в техногенних ґрунтах, Y_{opt} – співвідношення поглинутих основ $(Ca^{2+} + Mg^{2+}) / Na^+$, оптимальне для цього типу ґрунтів, C_i – вміст елементів живлення (N, P, K) у техногенних ґрунтах, C_f – вміст елементів живлення (N, P, K) в ґрунтах регіонального фону, P_i – вміст пріоритетних металів в техногенних ґрунтах, P_f – вміст пріоритетних металів в ґрунтах регіонального фону, P_k – вміст пріоритетних металів у контролі, n – кількість дослідницьких проб ґрунтів.

На думку Т.І. Долгової (2009), залучення інтегральних показників ($C_{D\text{NPK}}$, ПЕН_M) дало змогу формалізувати весь спектр забруднювачів та вийти на монооціночний критерій залежно від їх кількісних та якісних характеристик. Безрозмірне значення показника екологічного бонітету ґрунтів (B_e) зумовлювалось необхідністю об'єднання величин із різними кількісними значеннями й одиницями виміру, тому у формулі (2.1) були використані відношення фактичного рівня показників до їх оптимальних значень, що також потрібно для зіставлення контрольованих параметрів з їх нормою¹⁶.

Серед позитивних відмінностей порівняно з попередньою методикою варто наголосити на врахуванні: 1) вмісту азоту у ґрунті, що в сукупності з рештою поживних елементів дасть змогу встановити дисбаланс мінерального живлення рослин; 2) поглинутих основ Na^+ , які у співвідношенні $(Ca^{2+} + Mg^{2+}) / Na^+$ є індикаторною характеристикою ступеня засолення; 3) концентрації екологічно небезпечних металів – елементів, які практично не підлягають деструкції у ґрунтах, можуть лише змінюють валентність та форму свого існування, отже, їх ефекти в разі постійного поповнення загального пулу зростають в якісному і кількісному відношенні. Проте, на жаль, із формули було виключено реакцію ґрунтового середовища, що не дуже доречно в контексті показника ПЕН_M , адже зміна її значення істотно впливає на мігрування металів у ґрунті.

Щодо складників формули визначення B_e варто зазначити, що нестачі вмісту металів порівняно до їх природного геохімічного фону не спостерігалось, отже, процеси забруднення переважали над деконцентрацією внаслідок впливу будівельної діяльності. Серед

¹⁶ Долгова Т.І. Екологічна безпека ґрунтів у гірничодобувних районах : монографія. Дніпропетровськ : НГУ, 2009. 270 с.

елементів мінерального живлення рослин найбільшою мірою в ґрунтах урбоекосистеми м. Дніпро зменшувався вміст азоту, тому залучення цього показника до формули визначення бонітету було досить доречним.

Таблиця 2

**Екологічний бонітет ґрунтів урбоекосистеми м. Дніпро
з урахуванням інтегрального показника екологічного напруження**

| Ґрунт | Be |
|-----------------------------|-------|
| Урбанозем перемішаного типу | 3,92 |
| Урбанозем насипного типу | 8,40 |
| Урбанозем агрогенного типу | 16,50 |
| Технозем | 1,79 |
| Екранозем | 11,45 |

Екологічний бонітет ґрунтів урбоекосистеми м. Дніпро коливався в межах (1,79–16,50), причому його найбільше значення було притаманне урбанозему агрогенного типу, за умов окультурення понад 50 років, та екранозему, що знаходився під асфальто-дорожнім покриттям та майже не зазнав забруднення небезпечними сполуками металів.

Обмежувальним фактором використання методики Т.І. Долгової (2009) є неузгодженість із класичною методикою, відсутність нормування показника Be, що не дає змоги перейти від кількісних до якісних характеристик ґрунту та визначитися із рівнем екологічної небезпеки, а при недостатності накопиченої бази даних суттєво утруднює її використання. Також невирішеним питанням залишається врахування буферної здатності міських ґрунтів, адже в процесі функціонування урбоекосистеми вони зазнають не тільки забруднення але й трансформації ґрунтового профілю внаслідок будівельної діяльності. Крім того, доцільним буде дотримання єдиного методологічного підходу щодо бонітування ґрунтів, приміром на основі класичної методики ЦНДІАО, з додаванням до неї діагностичних показників, які відбивають наслідки антропогенного впливу.

**2. Бонітування ґрунтів урбоекосистем з урахуванням
їх буферної здатності та ступеня забруднення сполуками металів**

Буферна здатність зонального ґрунту чорнозему звичайного щодо забруднення сполуками металів досить висока. Проте чисельними дослідженнями доведено, що показники буферності (вміст гумусу, глинистих часток, CaCO_3 , R_2O_3 та pH) в урбаноземів різного походження

значно нижчі за аналогічні в зональних ґрунтах^{17, 18}. Тому виникає необхідність, по-перше, врахувати буферну здатність міських ґрунтів, адже в процесі функціонування урбоєкосистеми вони зазнають не тільки забруднення але й трансформації ґрунтового профілю в результаті будівельної діяльності, а по-друге, ввести додаткові показники до методики визначення бонітету, запропонованої ЦНДІАО.

Бонітет міських ґрунтів ($B_{м.г.}$) оцінювали за формулою, що становила розширений варіант класичної методики ЦНДІАО (2.1)

$$B_{м.г.} = (B + B_{в.м.} + B_{б.з.})/3 \quad , \quad (2.1)$$

де B – бонітет ґрунту, який визначається за класичною методикою ЦНДІАО за показниками, як гідролітична кислотність, вміст гумусу, фосфору, калію, кальцію, магнію, сума поглинених основ, $B_{в.м.}$ – бонітет за вмістом сполук металів у ґрунті, $B_{б.з.}$ – бонітет ґрунту за буферною здатністю до забруднення металами.

Вміст металів у зональному та антропогенно порушеному ґрунтах визначали після їх кислотної обробки на атомно-абсорбційному спектрофотометрі. Поліелементне забруднення небезпечними сполуками металів (Cd, Pb, Zn, Cu, Ni) ґрунту оцінювали за сумарним показником забруднення (Z_c) згідно з методикою Ю.Є. Саєта¹⁹. Сутність показника Z_c ґрунтується на визначенні суми коефіцієнтів концентрації металів (K_c), які своєю чергою свідчать про перевищення вмісту катіонів металів у досліджуваному ґрунті порівняно з їх фоновою концентрацією в зональному ґрунті.

Сумарний показник забруднення (Z_c), що був запропонований Ю.Є. Саєтом (1990), визначали за сумою перевищень геохімічного фону досліджуваними металами за формулою (2.2) з подальшим нормуванням (табл. 2.1)²⁰

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_c - (n - 1), \quad (2.2)$$

де K_c – коефіцієнт концентрації (або аномальності за В.В. Добровольським, 1999) хімічного елементу, який розраховували як відношення C_p – реального вмісту елементу в ґрунті (мг/кг) до C_ϕ – його фонового вмісту в ґрунті (мг/кг).

¹⁷ Ильин В. Б. Оценка буферности почв по отношению к тяжелым металлам. *Агрехимия*. 1995. № 10. С. 109–113.

¹⁸ Яковичина Т.Ф. Соболев Т.О., Тур А.И. Оцінка буферності міських ґрунтів щодо забруднення важкими металами в системі екологічного моніторингу. *Актуальні проблеми дослідження довкілля* : збірник наукових праць за матеріалами VI Міжнародної наукової конференції, 20–22 травня 2015 р. Суми, 2015. Т. 2. С. 104–107.

¹⁹ Саєт Ю.Є., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды Москва : Недра. 1990. 335 с.

²⁰ Добровольский В.В. Ландшафтно-геохимические критерии оценки загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами. *Почвоведение*. 1999. № 5. С. 639-645.

**Нормування ступеня поліелементного забруднення ґрунту
металами за Z_c ²¹**

| Категорія інтенсивності забруднення | Межі коливань |
|-------------------------------------|------------------|
| дуже слабка | < 8 |
| слабка | $8 < Z_c < 16$ |
| помірна | $16 < Z_c < 32$ |
| сильна | $32 < Z_c < 64$ |
| дуже сильна | $64 < Z_c < 128$ |
| надто сильна | > 128 |

Тому з огляду на принципи, закладені в методіку визначення бонітету згідно із ЦНДІАО, формула встановлення бонітету ґрунту за вмістом сполук металів ($B_{в.м.}$) отримала такий вигляд (2.3):

$$B_{в.м.} = (1 / Z_c) \times 100, \quad (2.3)$$

Буферну здатність ґрунту до забруднення сполуками металів встановлювали за методикою В.Б. Ільїна (1995) [16]. Для переведення значення буферної здатності в бали використовували відношення одержаних значень у міських ґрунтах до її значення і зональному ґрунті – чорноземі звичайному за формулою (2.4)

$$B_{б.з.} = (B_{з.г.} / B_{м.г.}) \times 100, \quad (2.4)$$

де $B_{б.з.}$ – бонітет буферної здатності ґрунту, $B_{з.г.}$ – буферна здатність міського ґрунту, в балах за В.Б. Ільїним (1995), $B_{м.г.}$ – буферна здатність зонального ґрунту, в балах за В.Б. Ільїним (1995).

Найбільший внесок у поліелементне забруднення ґрунтів урбоекосистеми м. Дніпро здійснювали Zn, Pb та Cu (табл. 4), значне варіювання їх коефіцієнтів концентрації, на основі яких розраховується Z_c , свідчило про направленість діяльності промислових підприємств-забруднювачів. Навколо промислових зон міста утворилися ареали забруднення Zn та Cu, в той час як на підвищення вмісту катіонів Pb у ґрунті здійснювали вплив викиди тетраетилсвинцю від автотранспорту, внаслідок розгалуженої системи автошляхів у центральній частині міста.

Поліелементне забруднення ґрунтів урбоекосистеми м. Дніпро сполуками металів мало дещо строкатий характер і коливалось у досить широких межах від дуже слабкого до сильного за Z_c (табл. 4). Дуже слабкий рівень забруднення був притаманний урбанозему агрогенного типу (приватна забудова периферійних зон міста). Стосовно урбаноземів, що сформувались на території висотної забудови, спостерігалась така тенденція: з віддаленням її від промислових зон та

²¹ Саєт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. Москва : Недра. 1990. 335 с.

автомагістралей з інтенсивним рухом, сумарний показник забруднення знижувався від помірного до слабкого незалежно від типу порушення ґрунтового профілю. Слабкий рівень забруднення екранозему пояснювався аерогенним забрудненням перед облаштуванням дороги та запечатуванням асфальто-дорожнім покриттям.

Таблиця 4

Забруднення сполуками металів ґрунтів урбоекосистеми м. Дніпро

| Ґрунт | K _c | | | | | Z _c |
|-----------------------------|----------------|------|-------|------|------|-------------------------------------|
| | Pb | Cu | Zn | Cd | Ni | Категорія інтенсивності забруднення |
| Урбанозем перемішаного типу | 6,61 | 1,84 | 13,46 | 2,08 | 1,88 | <u>21,87</u> Помірна |
| Урбанозем насипного типу | 1,46 | 1,72 | 5,51 | 1,79 | 2,56 | <u>9,04</u> Слабка |
| Урбанозем агрогенного типу | 2,85 | 1,32 | 3,22 | 1,14 | 1,32 | <u>5,85</u> Дуже слабка |
| Технозем | 12,91 | 5,16 | 21,34 | 2,04 | 2,73 | <u>40,18</u> Сильна |
| Екранозем | 4,93 | 2,56 | 5,83 | 1,67 | 1,38 | <u>12,37</u> Помірна |

Антропогенний вплив на міські ґрунти призвів до зниження їх стійкості щодо забруднення сполуками металів, що проявлялось через показники буферної здатності.

Механізм протекторних властивостей гумусу у буферній здатності полягає у взаємодії катіонів металів з органічною речовиною ґрунту, яка відбувається шляхом іонообмінних процесів, адсорбції на поверхні, хелатуванні, реакцій коагуляції та пептизації. За ступенем забезпеченості гумусом технозем належав до дуже слабко забезпеченого, а екранозем і урбаноземи різних типів – до слабко забезпечених ґрунтів (табл. 5).

Гранулометричний склад урбанозему наслідував ознаки зонального ґрунту – чорнозему звичайного, антропогенний вплив позначався через збільшення включень будівельного сміття та пилюватих часток розміром менш за 0,01 мм, за виключенням агрогенного типу, де протягом понад півстоліття створювався штучний гумусовий горизонт, складений агрономічно цінними ґрунтовими агрегатами при зменшенні вмісту включень. Чорнозем звичайний належав до важкосуглинкових ґрунтів, у той час як втручання людської діяльності при розбудові урбоекосистеми

суттєво збільшувало фракцію 0,01–0,001 мм і за вмістом фізичної глини їх можна було зарахувати до легкоглинистих ґрунтів. Варто також зазначити, що вміст фізичної глини впливає на закріплення катіонів металів та запобігає можливості утворення сполук, здатних до мігрування.

Таблиця 5

Буферна здатність ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро

| Показник | Урбанозем перемішаного типу | Урбанозем насипного типу | Урбанозем агрогенного типу | Технозем | Екранозем |
|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|------------------------|--------------------------|
| Гумус, % | 1,47 | 1,88 | 2,96 | 1,18 | 2,43 |
| Глинисті частки, % | 59,1 | 60,3 | 58,8 | 48,3 | 55,8 |
| Карбонати, % | 0,36 | 0,47 | 0,41 | 0,35 | 0,52 |
| R ₂ O ₃ , % | 3,6 | 3,0 | 3,7 | 2,8 | 3,3 |
| pH | 6,7 | 7,14 | 7,02 | 6,58 | 6,83 |
| Буферна здатність, бали | <u>34</u> підвищена | <u>35</u> підвищена | <u>38</u> підвищена | <u>29,5</u> середня | <u>37,5</u> підвищена |

Закріплення катіонів металів відбувається також у результаті неспецифічної сорбції катіонів шляхом обміну катіонів дифузного шару колоїдної міцели (Fe³⁺, Al³⁺) на еквівалентну кількість катіонів металу, що знаходиться в ґрунтовому розчині. Збільшення вмісту оксидів Fe, Mn і Al істотно знижує здатність до мігрування сполук металів у ґрунті^{22, 23}. Вміст полуторних оксидів зменшувався у межах 9,6–31,7% від значення у зонального ґрунту, найбільшою мірою – в техноземі.

Карбонат кальцію сприяє закріпленню металів за реакцією обміну шляхом утворення сполук із низьким добутком розчинності (CdCO₃ – 2,8·10⁻⁶, PbCO₃ – 1,1·10⁻⁵, ZnCO₃ – CdCO₃ г на 100 мл води). Вміст карбонатів у міських ґрунтах визначався напрямами впливу будівельної діяльності: знижувався під час проведення земляних робіт через перемішування з нижніми підстиляючими породами та підвищувався внаслідок включень артиіндустратів та артиурбістратів, проте значення, притаманного зональному чорнозему звичайному, не досягав.

Реакція ґрунтового середовища взаємопов'язана з окислювально-відновлювальним потенціалом, їх сукупність визначає міграційну здатність сполук практично всіх металів. Високі значення окислювально-відновлювального потенціалу сприяють зниженню активності електронів у ґрунті, щільності електронної хмари і заряду

²² Ильин В.Б. Оценка буферности почв по отношению к тяжелым металлам. *Агрехимия*. 1995. №10. С. 109–113.

²³ Zawadzki J., Magiera T. Fabianczyk Geostatistical evaluation of magnetic indicators of forest soil contamination by heavy metals. *Studia Geophysica et Geaetica*. 2009. Vol. 53. № 1. P. 133–149.

ацидоїдів. Збільшення окислювально-відновлювального потенціалу позначається на селективному поглинанні ґрунтом катіонів із меншою щільністю заряду. Високі значення окислювально-відновлювального потенціалу та лужна реакція ґрунтового середовища ініціюють осадження катіонів металів у вигляді слабо розчинних у воді оксидів та гідроксидів.

Реакція ґрунтового середовища міських ґрунтів визначалась напрямами господарської діяльності людини, а саме тенденція до підкислення була притаманна технозему (промислова зона) та урбанозему перемішаного типу внаслідок переваження процесів осадження на його поверхню фізіологічно кислих викидів підприємств, навпаки, ґрунти, з домінуючим впливом будівельної діяльності, характеризувались збільшенням лужності через включення карбонатів антропогенного походження. Однак варто зазначити, що коливання рН в усіх досліджуваних типах урбаноземів порівняно до значення зонального чорнозему звичайного були досить незначні (табл. 5), а це свідчить про здатність порушених ґрунтів ще підтримувати свої протекторні властивості. Значення рН чорнозему звичайного – 6,75, що відповідало родючому ґрунту, в той час як технозем та урбаноземі з насипним і агрогенним типами ґрунтового профілю належали вже до потенційно родючих ґрунтів. На ділянці з урбаноземом перемішаного типу через різнонаправлену дію та екраноземом внаслідок запечатування асфальто-дорожнім покриттям антропогенний вплив майже нівелювався.

Згідно із визначеними за методикою В.Б. Ільїна (1995) балами, буферна здатність міських ґрунтів була середньою та підвищеною, що зумовлювалось наявністю ознак зонального ґрунту – чорнозему звичайного малогумусного важкосуглинкового, на тлі якого вони сформувались. Значення балів буферної здатності були практично на одному рівні для промислової та висотної забудови, виняток становили екранозем – запечатаний ґрунт, який здебільшого не сприймає техногенне навантаження, а також урбанозем агрогенного типу з приватного сектора, що пояснюється його окультуреністю та спробами власників підтримувати екологічні функції шляхом використання органічних та мінеральних добрив.

Здійснення оцінювання ґрунтів урбоекосистеми м. Дніпро шляхом їх бонітування дало змогу зарахувати їх до категорій із середньою та високою якістю (табл. 6). Найбільшою мірою зниження значень показника бонітету міських ґрунтів відбувалось саме в разі врахування рівня забруднення за Z_c , тому нехтувати ним, оцінюючи екологічну безпеку ґрунтів урбоекосистеми не можна, втім, як і бонітетом, що відбиває буферну здатність, адже саме їх поєднання дають характеристику мобільності небезпечних сполук металів у ґрунті.

**Оцінка якості ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро
згідно зі значенням бонітету**

| Ґрунт | Бонітет, бали | | | | Характеристика якості |
|-----------------------------|---------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|
| | Б | Б _{в.м.} | Б _{б.з.} | Б _{м.г.} | |
| Урбанозем перемішаного типу | 79,4 | 4,6 | 79,1 | 54,4 | Середня якість |
| Урбанозем насипного типу | 80,0 | 11,1 | 81,4 | 57,5 | Середня якість |
| Урбанозем агрогенного типу | 91,5 | 17,1 | 88,4 | 65,7 | Висока якість |
| Технозем | 69 | 2,5 | 68,6 | 46,7 | Середня якість |
| Екранозем | 85,5 | 8,2 | 87,2 | 60,3 | Висока якість |

Ґрунти урбоєкосистеми Дніпро хоча й значною мірою втратили свою родючість, однак все ж таки мали ознаки чорнозему звичайного, що підтверджував коефіцієнт кореляції (0,9910) між показниками Б_{м.г.} та Б, розрахованими за класичною методикою ЦНДАІО та з урахуванням техногенного навантаження на ґрунти внаслідок забруднення. Рівняння регресії (2.5) між цими двома показниками, яке було представлено поліномом третього порядку, також підтвердило досить тісний зв'язок, про що свідчить високий коефіцієнт апроксимації. І хоча врахування під час розрахунку бонітету міських ґрунтів інтегрального показника Z_с, який відбиває надлишок вмісту металів порівняно з їх природним геохімічним фоном при поліелементному характері забруднення призвело до істотного зниження значень Б_{м.г.}, проте згідно з коефіцієнтом кореляції (-0,9127) та рівняння регресії (2.6) зв'язок між Б_{м.г.} та Z_с був менш виражений порівняно з Б, що відбиває здебільшого рівень мінерального живлення рослин. Зворотний характер кореляційної залежності свідчив про зменшення родючості за умови збільшення техногенного навантаження на міські ґрунти. Буферність ґрунту, яка відповідає за протекторні властивості щодо депонування катіонів металів, сприяла підвищенню балу бонітету, між її значенням та Б_{б.з.} було встановлено тісний кореляційний зв'язок (0,9727) та отримано рівняння регресії (2.7) з високою достовірністю апроксимації.

$$B_{m.g.} = 0,0005B^3 - 0,1137B^2 + 10B - 255,53 \quad R^2 = 0,9825 \quad (2.5)$$

$$B_{m.g.} = 0,0007Z_c^3 - 0,0436Z_c^2 + 0,3016Z_c + 61,156 \quad R^2 = 0,8511 \quad (2.6)$$

$$B_{m.g.} = 0,0904B_{b.z.}^3 - 9,1337B_{b.z.}^2 + 308,08 B_{b.z.} - 3413,9 \quad R^2 = 0,9625 \quad (2.7)$$

Результати проведених кореляційного та регресійного аналізів вкотре підтвердили доцільність врахування показників, що відповідають за рівень забруднення небезпечними сполуками металів та буферну здатність у процесі розрахунку бонітету ґрунтів техногенно навантажених урбоєкосистем.

ВИСНОВКИ

Проведено порівняльний аналіз методик бонітування (ЦНДІАО, з урахуванням інтегрального показника екологічного напруження Т.І. Долгової, буферної здатності та ступеня забруднення сполуками металів) на прикладі різних типів ґрунтових утворень урбоєкосистеми м. Дніпро. Встановлено, що згідно зі значеннями бонітету, розрахованими за зазначеними методиками, рівень родючості міських ґрунтів зменшувався у ряді урбанозем агрогенного типу > екранозем > урбанозем насипного типу \approx урбанозем перемішаного типу > технозем. Виявлено обмеження застосування методик бонітування, а саме щодо методики ЦНДІАО – неврахування особливостей міських ґрунтів, як то стаціонально-деструктивне та інгредієнтне забруднення, а у методиці Т.І. Долгової (2010) це відсутність нормування показника B_e , що не дає змоги перейти від кількісних до якісних характеристик ґрунту та визначитися з рівнем екологічної небезпеки. Запропоновано розширити класичну методику бонітування ЦНДІАО для врахування особливостей урбоєкосистем шляхом введення додаткових показників, а саме: інтегрального показника забруднення небезпечними сполуками металів та їх буферної здатності щодо можливості сприйняття техногенного навантаження. На основі порівняння результатів розрахунків бонітету ґрунтів м. Дніпро (технозем, екранозем та урбаноземи перемішаного, насипного і агрогенного типів), здійснених за рекомендаціями ЦНДІАО, з урахуванням інтегрального показника екологічного напруження та згідно із запропонованим методологічним підходом переконливо доведена доцільність врахування особливостей впливів на ґрунти, що виникають у процесі функціонування урбоєкосистеми, для оцінювання ступеня їх екологічної безпеки методом бонітування. Обґрунтовано переведення значення сумарного показника забруднення (Z_c) в бальний коефіцієнт ($B_{в.м}$) для врахування ступеня екологічної небезпеки, яку спричиняє надлишковий вміст сполук металів у ґрунті. Запропоновано визначати оціночний бал бонітету за буферною здатністю міських ґрунтів до забруднення небезпечними сполуками металів як відношення вмісту гумусу, глинистих часток, карбонатів R_2O_3 та рН у міських ґрунтах до аналогічних показників у зональному чорноземі звичайному, дотримуючись єдиного методологічного принципу бонітування.

АНОТАЦІЯ

Запропоновано використовувати бонітування як інвентаризацію показників екологічних властивостей міських ґрунтів, що сприяє всебічному об'єктивному оцінюванню якісного і функціонального їх стану, отже, має важливе науково-практичне значення в умовах формування ринку землі в процесі врахування екологічних пріоритетів. Проведено детальний аналіз ефективності оцінювання ґрунтової родючості за допомогою методик (ЦНДІАО та з урахуванням інтегрального показника екологічного напруження), на підставі якого виявленям недоліки та обмеження в їх використанні. Доведено доцільність розширення класичної методики бонітування ЦНДІАО шляхом врахування особливостей у процесі розбудови та функціонування урбоекосистем через введення додаткових показників, а саме: інтегрального показника забруднення небезпечними сполуками металів та їх буферної здатності щодо можливості сприйняття техногенного навантаження. Обґрунтовано формулу перерахунку значень сумарного показника забруднення ґрунту сполуками металів у бальний коефіцієнт. Запропоновано визначати оціночний бал буферності, як відношення вмісту гумусу, глинистих часток, карбонатів R_2O_3 та рН у міських ґрунтах до аналогічних показників у зональному чорноземі звичайному, а його відношення до значення в зональному ґрунті при розрахунку бонітету за буферною здатністю. Згідно зі значеннями бонітету для ґрунтів урбоекосистеми м. Дніпро встановлено зниження рівня родючості в ряді урбанозем агрогенного типу > екранозем > урбанозем насипного типу \approx урбанозем перемішаного типу > технозем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Добровольский В.В. Ландшафтно-геохимические критерии оценки загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами. *Почвоведение*. 1999. № 5. С. 639–645.
2. Долгова Т.І. Екологічна безпека ґрунтів у гірничодобувних районах : монографія. Дніпропетровськ : НГУ, 2009. 270 с.
3. Иванцова Е.А., Водолазко А.Н. Влияние загрязнения почв сельскохозяйственных земель тяжелыми металлами на их бонитировочную оценку (на примере Волгоградской области). *Проблемы региональной экологии*. 2019. № 4. С. 111–115.
4. Ильин В.Б. Оценка буферности почв по отношению к тяжелым металлам. *Агрехимия*. 1995. № 10. С. 109–113.
5. Канащ О.П. Бонітування ґрунтів: пропонуються зміни, чого вони варті? *Землевпорядний вісник*. 2008. № 5. С. 46–50.
6. Карманов И.И., Булгаков Д.С., Шишконокова Е.А. Система оценки природно-антропогенных воздействий на изменение плодородия почв

пахотных земель на основе почвенно-агроклиматического индекса. *Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева*. 2013. Вып. 72. С. 65–83.

7. Медведєв В.В., Пліско І.В. Бонітування ґрунтів в Україні: підсумки і перспективи. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Сер. Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство, екологія ґрунтів*. 2011. № 1. С. 22–28.

8. Панас Р.М., Маланчук М.С. Особливості бонітування техногенних ґрунтів. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2013. Вип. 77. С. 74–80.

9. Пліско І.В. Просторово-диференційована система управління якістю ґрунтів (на прикладі ріллі України) : автореф. дис. ... докт. сіл.-госп. наук : 06.01.03 «Агроґрунтознавство і агрофізика». 2019. 49 с.

10. Саєт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. Москва : Недра. 1990. 335 с.

11. Серый А.И. К методике бонитировки почв на агроэкологической основе. *Почвоведение*. 1981. № 7. С. 5–17.

12. Смага И.С. Методологические основы бонитетной оценки почв и их усовершенствование. *Ґрунтознавство*. 2013. Том. 14, № 3-4. С. 63–75.

13. Торохова О.Н., Агурова И.В. Оценка пригодности пород промышленных отвалов Донбасса для произрастания растений. *Промышленная ботаника*. 2008. Вып. 8. С. 12-16.

14. Труфанов А.М. Роль гумуса дерновоподзолистой глееватой почвы в изменении показателей её общей токсичности и урожайности яровой пшеницы. *Вестник АПК Верхневолжья*. 2018. № 4(44). С. 9–14.

15. Швартау В.В., Вирьч П.А., Маковейчук Т.И., Артеменко А.Ю. Кальций в растительных клетках. *Вісник Дніпропетровського національного університету. Сер. Біологія та екологія*. 2014. № 22(1). С. 19–32.

16. Швартау В.В., Гуляев Б.И., Карлова А.Б. Особенности реакции растений на дефицит фосфора. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2009. Т. 41, № 3. С. 208–213.

17. Яковишина Т.Ф., Соболев Т.О., Тур А.І. Оцінка буферності міських ґрунтів щодо забруднення важкими металами в системі екологічного моніторингу. *Актуальні проблеми дослідження довкілля : збірник наукових праць за матеріалами VI Міжнародної наукової конференції, 20–22 травня 2015 р. Суми, 2015. Т. 2. С. 104–107.*

18. Theodorou M.E., Flaxton W.C. Metabolic adaptation of plant respiration to nutritional phosphate deprivation. *Plant Physiology*. 1993. Vol. 101. P. 339–344.

19. Verheye W.H. Use of land evaluation techniques to assess the market value of agricultural land. *Agropedology*. 2000. № 10. P. 88–90.
20. Zawadzki J., Magiera T. Fabianczyk Geostatistical evaluation of magnetic indicators of forest soil contamination by heavy metals. *Studia Geophysica et Geodaetica*. 2009. Vol. 53. № 1. P. 133–149.

Information about author:

Yakovyshyna T. F.,

Doctor of Technical Science (Ecological Safety), Associate Professor,
Professor at the Department of Ecology and Environmental Protection
Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture
24-A, Chernishevsky str., Dnipro, 49600, Ukraine