
ECOLOGICAL SOIL SCIENCE



V. L. Samokhvalova¹✉ Cand. Sci. (Agri.), Sen. Res. Sci.
Y. V. Skrylnyk¹ Dr. Sci. (Agri.)
L. O. Shedey¹ Cand. Sci. (Agri.), Sen. Res. Sci.
V. I. Lopushnyak² Dr. Sci. (Agri.), Professor
N. V. Oliynyk³ Cand. Sci. (Tech.), Sen. Res. Sci.
P. A. Samokhvalova⁴
O. V. Mandryka¹

UDK 631.41; 631.416.9;
631.52; 641.417.2(282.247.31);
504.53.06: 504.054

¹National Scientific Centre «O. N. Sokolovsky Institute for Soil Science and Agrochemistry», Chaikovska str., 4, Kharkiv, Ukraine, 61024

²Lviv National Agrarian University, Vladimir Velykyj str., 1, Dublany, Zhovkivsky district, Lvov region, Ukraine, 80381

³Lugansk DS NSC «O. N. Sokolovsky Institute for Soil Science and Agrochemistry», Octobers str., 14, Metalist, Slavyanoserbbsk district, Lugansk region, Ukraine, 93733

⁴V. N. Karazin Kharkov National University, Svobody square, 4, Kharkov, Ukraine, 61022

FORECASTING THE LEVELS OF TRACE ELEMENTS AND HEAVY METALS CONTENT IN SOILS OF DIFFERENT GENESIS FOR THE ASSESSMENT OF THEIR ENVIRONMENTAL AND PRODUCTIONAL FUNCTIONS

Abstract. Grounded the method for predicting of trace elements (TE) and heavy metals (HM) content in the soil system of different genesis were examined on the example of soils in different natural-climatic zones of Ukraine, contaminated soils in Kharkiv, Donetsk and Lugansk regions, and intensive fertilizer (organo-mineral, organic and mineral system of fertilizers) of soils in Kiev, Kharkiv, Poltava and Lviv region. In the developed methodical approach by using the parameters indicators of the energy state of the soil (calorific value of humus, the reserves of energy in the soil layer of 0–20 cm) using mathematical models and the spread of the algorithm of the method on other soil types of a particular natural-climatic zone in the conditions of technogenic pollution and technological load is predicted the TE and/or HM content in soils of different types, which ensures the rapidity of the assessment and improve the accuracy of the trace element status prediction, energy and humus state of soils of different genesis with the identification of soils ecological differences to predict their quality by assessment of ecological functions for the ranking of energy intensity indicators of the soil.

✉ Tel.: +038057-704-16-69. E-mail: v.samokhvalova@mail.ru

DOI: 10.15421/031607

Scientific elaboration of a method for predicting levels of chemical elements in soils of different types on the natural environment, the effects of man-made pollution and technological load, should be used in the environmental regulation of the TE content and normalization of loads (technogenic, technological) on the soil system, agroecology on issues of organic farming, bioenergy and energy of soil formation; diagnosis, estimation, prediction of humus quality and the of TE status and the danger of excessive accumulation of HM in the soil for indicators of the energy state; the effective environmental management of soils as in natural conditions, and the influence of various anthropogenic factors, taking into account their ecological functions; in research practice – for system research of natural components of the biosphere, the assessment of carbon sequestration in soils and assess of their quality. Distinctive features and advantages of the proposed elaboration in comparison with known methods and approaches are: greater predictability of energy and trace element status, humus and ecological state of the soil as a whole to prevent the degradation of soil organic matter and reduction of risks of influence of HM technogenic pollution; rapidity of obtaining and improving the accuracy of the predictions of the HM and TE content in the soil; universality way to suitability of the method for all soil types in different climatic zones; stimulating further research in the field of energy of soil formation and solution of practical tasks of conservation and restoration of soils functions, identification optimal energy cost and taking into account the ecological functions of soil certain type.

Key words: *soil, trace elements, heavy metals, energy capacity, calorific value of humus, the reserves of energy in the layer 0–20 cm, industrial pollution, technological load, method, prediction.*

УДК 631.41;631.416.9;
631.52; 641.417.2(282.247.31);
504.53.06: 504.054

В. Л. Самохвалова¹ стар. науч. сотр., канд. с.-х. наук
Е. В. Скрыльник¹ д-р с.-х. наук
Л. А. Шедей¹ стар. науч. сотр., канд. с.-х. наук
В. И. Лопушняк² д-р с.-х. наук, проф.
Н. В. Олейник³ стар. науч. сотр., канд. техн. наук
П. А. Самохвалова⁴
О. В. Мандрыка¹

¹ *Национальный научный центр «Институт почвоведения и агрохимии им. А. Н. Соколовского», ул. Чайковская, 4, г. Харьков, Украина, 61024, тел.: +038057-704-16-69, e-mail: v.samokhvalova@mail.ru*

² *Львовский национальный аграрный университет, ул. Владимира Великого, 1, п. Дубляны, Жовковский район, Львовская обл., Украина, 80381*

³ *Луганская ОС ННЦ «Институт почвоведения и агрохимии им. А. Н. Соколовского», ул. Октябрьская, д. 14, п. Металлист, Славяносербский район, Луганская обл., Украина, 93733*

⁴ *Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина, пл. Свободы, 4, г. Харьков, Украина, 61022*

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОВНЕЙ СОДЕРЖАНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ РАЗЛИЧНОГО ГЕНЕЗИСА ДЛЯ ОЦЕНКИ ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ПРОДУКЦИОННЫХ ФУНКЦИЙ

Аннотация. Обоснован способ прогнозирования содержания микроэлементов (МЭ) и тяжелых металлов (ТМ) в почвенной системе на примере обследованных почв разного генезиса природно-климатических зон Украины, загрязненных почв Харьковской и Луганской областей и интенсивно удобренных (органо-минеральная, органическая и минеральная системы удобрения) почв Харьковской, Полтавской и Львовской областей. В разработанном методическом подходе при использовании показателей энергетического состояния почв (теплотворная способность гумуса, запасы энергии в слое 0–20 см), используя разработанные математические модели, и путем экстраполирования алгоритма способа на почвы других типов определенной природно-климатической зоны в условиях техногенного загрязнения и технологической нагрузки, прогнозируется содержание МЭ и/или ТМ в почвах, чем обеспечивается экспрессность оценки и повышение точности прогнозирования элементного статуса, энергетического и гумусового состояния почв различного

генезиса с одновременным выявлением различных экологического состояния почв для прогноза их качества с оценкой экологических функций при ранжировании показателей энергоёмкости почвы.

Ключевые слова: почва, микроэлементы, тяжёлые металлы, энергоёмкость, теплотворная способность гумуса, запасы энергии в слое почвы 0–20 см, техногенное загрязнение, технологическая нагрузка, способ, прогнозирование.

УДК 631.41;631.416.9;
631.52; 641.417.2(282.247.31);
504.53.06: 504.054

В. Л. Самохвалова¹ стар. наук. спів., канд. с.-г. наук
Є. В. Скрильник¹ д-р с.-г. наук
Л. О. Шедєй¹ стар. наук. спів., канд. с.-г. наук
В. І. Лопушняк² д-р с.-г. наук, проф.
Н. В. Олійник³ стар. наук. спів., канд. техн. наук
П. А. Самохвалова⁴
О. В. Мандрика¹

¹Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського», вул. Чайковська, 4, м. Харків, Україна, 61024, тел.: +038057-704-16-69, e-mail: v.samokhvalova@mail.ru

²Львівський національний аграрний університет, вул. Володимира Великого, 1, м. Дубляни, Жовківський район, Львівська обл., Україна, 80381

³Луганська ДС ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського», вул. Октябрьська, б. 14, с. Металіст, Слов'янськський район, Луганська область, Україна, 93733

⁴Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна, пл. Свободи, 4, м. Харків, Україна, 61022

ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНІВ ВМІСТУ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ І ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ҐРУНТАХ РІЗНОГО ГЕНЕЗИСУ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЇХ ЕКОЛОГІЧНИХ ТА ПРОДУКЦІЙНИХ ФУНКЦІЙ

Анотація. Обґрунтовано спосіб прогнозування вмісту мікроелементів (МЕ) та важких металів (ВМ) у ґрунтовій системі на прикладі обстежених ґрунтів різного генезису природно-кліматичних зон України, забруднених ґрунтів у Харківській, Донецькій і Луганській областях та інтенсивно удобрюваних (органо-мінеральна, органічна та мінеральна системи удобрення) ґрунтів у Київській, Харківській, Полтавській та Львівській областях. У розробленому методичному підході шляхом використання параметрів показників енергетичного стану ґрунтів (теплотворна здатність гумусу, запаси енергії у шарі 0-20 см), за математичними моделями та поширенням алгоритму способу на ґрунти інших типів певної природно-кліматичної зони за умов техногенного забруднення і технологічного навантаження, прогнозується вміст МЕ і/або ВМ у ґрунтах різних типів, чим забезпечується експресність оцінки та підвищення точності прогнозування елементного статусу, енергетичного та гумусового стану ґрунтів різного генезису з виявленням відмінностей екологічного стану ґрунтів для прогнозу їхньої якості з оцінюванням екологічних функцій за ранжування показників енергоємності ґрунту.

Ключові слова: ґрунт, мікроелементи, важкі метали, енергоємність, теплотворна здатність гумусу, запаси енергії у шарі 0–20 см, техногенне забруднення, технологічне навантаження, спосіб, прогнозування.

ВСТУП

Відомо, що прогнозування якості ґрунтів різного генезису є комплексною та багатоетапною у вирішенні задачею за фонових умов та антропогенних (техногенних, технологічних) впливів на ґрунти, і передбачає: 1) урахування та оцінювання параметрів показників властивостей ґрунту; 2) науково-обґрунтоване передбачення

трансформації якості ґрунту за умов високої та низької культури землеробства за використання бонітетів ґрунтів, що кількісно відображають їхній якісний стан; 3) коректне використання результатів прогнозування (Medvedev, Plisko, 2003).

Для нормування та оцінювання якості ґрунтів необхідними є надійні прогнозні оцінки щодо змін процесів, властивостей та їх функцій за фонових умов і впливу зростаючих антропогенних навантажень на ґрунти із одночасним забрудненням надлишком біогенних елементів та ВМ, що призводить до зміни елементного статусу системи ґрунт-рослина, інших ланок трофічних ланцюгів, деградації ґрунтів різного генезису за негативного впливу на їх структуру і функції.

Використання показників енергетичного стану ґрунтів різного генезису, як інтегральних характеристик змін їх властивостей, є важливою складовою прогнозування змін їх функцій. Отже, розробка методичних підходів щодо прогнозування елементного статусу ґрунтів різного генезису за використання показників еколого-енергетичного стану та їх впровадження є актуальною проблемою, що потребує подальшого удосконалення існуючих способів прогнозування, уточнення прогнозів та моделей прогнозу.

Мета дослідження – розробити спосіб прогнозування рівнів вмісту МЕ /ВМ у ґрунтах різного генезису для оцінювання їх екологічних та продукційних функцій за рахунок розширення спектру інформативних діагностичних показників енергетичного стану ґрунтів та встановлення нових закономірних зв'язків з рівнями вмісту хімічних елементів, що надає можливість підвищити точність та експресність прогнозування їх вмісту, енергетичного та гумусового стану ґрунтів різного генезису з виявленням відмінностей екологічного стану ґрунтів за екологічними функціями для прогнозу і нормування їх якості.

Розробку способу спрямовано на: 1) забезпечення більшої прогнозованості енергетичного і мікроелементного статусу, гумусового та екологічного стану ґрунту в цілому для попередження деградації органічної речовини ґрунтів та зниження ризиків впливу техногенного забруднення ВМ; 2) експресність отримання та підвищення точності прогнозованих значень вмісту МЕ і ВМ у ґрунтах; 3) забезпечення універсальності способу завдяки його придатності для всіх типів ґрунтів різних природно-кліматичних зон; 4) стимулювання подальших досліджень щодо енергетики ґрунтоутворення та вирішення практичних завдань збереження показників енергосемності і відновлення функцій ґрунтів, виявлення оптимальних енергетичних витрат та урахування екологічних та продукційних функцій ґрунту певного типу.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Розроблення способу включало:

1) Проведення патентного пошуку згідно з ДСТУ 3575. Об'єкти патентного пошуку – об'єкти авторського права, які запатентовано в Україні та країнах СНД, ЄС в площині поставленої мети. Предмет пошуку – спосіб в цілому; окремі операції (етапи) способу, що є самостійним патентоспроможним об'єктом; способи їх одержання і галузь застосування; обладнання, що використовують при здійсненні способу; методичні підходи щодо прогнозування елементного статусу ґрунтів різних типів, у тому числі і за техногенного забруднення ВМ і технологічного навантаження, за використання методів математичного моделювання для прогнозу стану ґрунтів як компоненти довкілля, включаючи моделі переносу та трансформацій забруднювачів (географічні моделі) та моделі змін стану ґрунтів за впливу забруднення (екологічні моделі); методи екстраполяції та експертних оцінок. Методи досліджень – методи теоретичного аналізу, системний підхід.

2) Польовий етап – ґрунтово-геохімічні дослідження, в тому числі, за умов технологічного навантаження на ґрунти Київської, Харківської, Полтавської та Львівської областей та за умов сталого впливу джерел атмотехногенних емісій

забруднення неорганічної природи Харківської області і промислових об'єктів Донецької та Луганської областей, та проведення серії стаціонарних мікропольових дослідів. Об'єкти дослідження – ґрунти Лісостепової і Степової природно-кліматичних зон України за впливу забруднення ВМ та за його відсутності. Методи досліджень – універсальні загальнонаукові методи, екосистемний та ландшафтно-геохімічні підходи.

Дослідження закономірних зв'язків мікроелементного, гумусового і енергетичного стану ґрунтів різного генезису та відповідно показників ґрунтових властивостей на рухомість МЕ /ВМ було проведено із відбором зразків з орного (0–20 см) шару.

Ґрунтово-геохімічні дослідження щодо техногенного навантаження ВМ на ґрунт проводили за умов сталого та періодичного впливу джерел поліелементного забруднення Зміївської ТЕС ПАТ «Центренерго» НАК «Енергетична компанія України» Харківської області, ВАТ «Укрцинк» і ВАТ «Авдіївський коксохімічний завод» Донецької обл.; промислових об'єктів м. Луганськ та Білокуракинського, Перевальського, Слов'янського і Троїцького районів Луганської області.

Також для підтвердження ідеї за розробки нового технічного рішення було використано цифрові матеріали щодо вмісту ВМ у ґрунтах з Екологічних атласів Харківської (2005), Донецької (2007) та Луганської (2004) областей.

Польові дослідження щодо технологічного навантаження проводили в умовах стаціонарного досліді кафедри ґрунтознавства, землеробства та агрохімії Львівського НАУ Західного Лісостепу України з вивчення ефективності впливу органо-мінеральної, органічної та мінеральної систем удобрення у встановленій ефективній кількості співвідношення комбінації ґрунтополіпшувачів на іммобілізацію рухомих форм ВМ та активацію МЕ у ґрунтах із відбором ґрунтових зразків та встановленням закономірностей змін їхнього вмісту та динаміки гумусного стану і трансформації органічної речовини у темно-сірому ґрунті польової сівозміни.

Енергоємність чорноземних ґрунтів різного гранулометричного складу за впливу систем удобрення визначено у довгострокових польових дослідженнях у Київській (Миронівська ДС), Харківській (ДП Граково), Полтавській (Полтавська ДС) та Луганській (Луганська ДС) областях. Застосовували мінеральну, органічну та органо-мінеральну системи удобрення, які було збалансовано за внесенням основних елементів живлення, а внесення органічних і мінеральних добрив оптимальними дозами проводили за використання чинних методичних рекомендацій (Vlasiuk, Dmytrenko, 1962). відповідно до типу ґрунту і природно-кліматичних умов певної зони (Dobryva ta yikh vykorystannia, 2010).

3) Аналітичний етап – у зразках ґрунтів різних типів (дерново-підзолисті, світло-сірі, сірі, темно-сірі; чорноземи опідзолені, типові, звичайні та південні, каштанові ґрунти тощо) за лабораторно-аналітичних досліджень згідно з чинними ДСТУ та методичною базою визначили: а) вміст рухомих форм МЕ і ВМ (за використання екстрагентів ацетатно-амонійного буферного розчину з рН 4,8 та 1н HCl згідно з ДСТУ 4770.1 – ДСТУ 4770.9 і MBV 31-497058-016-2003); б) загальний вміст органічної речовини – за методом Тюріна (ДСТУ 4289:2004); в) груповий (за модифікованим методом М. М. Кононової та Н. П. Бельчикової згідно з ДСТУ 7855:2015) та фракційний склад гумусу ґрунту (модифікований метод В. В. Пономарьової та Т. А. Плотнікової згідно з ДСТУ 7828:2015); г) здійснили препаративне виділення гумусових речовин ґрунту (ДСТУ 7606:2014); д) питому енергоємність ґрунтів і препаратів ГК – за допомогою калориметричної установки В - 08 МА ПУ 1.470.000 за показником питомої теплоти згорання зразків (ДСТУ 7866:2015); е) показники щільності будови ґрунтів за фонових умов, впливу техногенного та технологічного навантаження (ДСТУ ISO 11272-2001).

4) Камеральний етап – оцінювання мікроелементного статусу ґрунтів за експертного оцінювання нормативно-довідкової документації, розрахунок показнику загальних запасів енергії гумусу ґрунту, статистична обробка отриманих даних щодо

гумусового, енергетичного стану ґрунтів в тому числі і за впливу технологічного навантаження, техногенного забруднення ВМ за побудови математичних моделей.

Розрахунок показника *загальних запасів енергії*, що акумульовані гумусом ґрунту, як індикатору енергетичного стану ґрунту, проводили за відомою формулою Д. С. Орлова – Л. А. Гришиної (Orlov, Grishina, 1981; Orlov et al., 2004) у модифікації О. Л. Орлова (Orlov, 2002), що враховує якісний склад гумусу і теплоємність основних його фракцій:

$$Q = (19,96 \text{ ГК} + 9,16 \text{ ФК} + 17,86 \text{ ГЗ}) \times H \times d \times 10 / 100, \quad (1)$$

де Q – запаси енергії, акумульовані гумусом ґрунту, 10^6 кДж /га (або 10^3 МДж /га); 19,96 – теплота згорання гумінових кислот, кДж/г; 9,16 – теплота згорання фульвокислот, кДж /г; 17,86 – теплота згорання гуміну, кДж /г; ГК – вміст гумінових кислот, %; ФК – вміст фульвокислот, %; ГЗ – вміст гуміну, %; H – шар ґрунту, м; d – щільність будови ґрунту, г/см³; 10 – коефіцієнт переведення в 10^6 кДж /га; 100 – перерахування одиниць виміру показників вмісту ГК, ФК та ГЗ у відсотках.

Оцінку екологічного стану ґрунтів щодо мікроелементного статусу та вмісту ВМ проводили згідно з діючими нормативами і методичною базою, використовуючи встановлені фонові рівні вмісту МЕ (ВМ) для ґрунтів певної природно-кліматичної зони України (Fateev, Samokhvalova, 2012). Також для підтвердження ідеї за розробки нового технічного рішення було використано цифрові матеріали звітів лабораторії охорони ґрунтів від техногенного забруднення ННЦ «ПА ім. О. Н. Соколовського» з виконання НТР за 2001–2005 рр., 2006–2010 рр. щодо елементного статусу ґрунтів за фонових умов, впливу техногенного забруднення ВМ за їхнього подальшого узагальнення.

Аналітичні числові дані щодо акумулятивної енергетичної функції гумусових речовин ґрунту – показників питомої внутрішньої енергії або теплотворної здатності гумусу; запасів енергії, що акумульовані гумусом ґрунту, мікроелементного статусу та гумусового стану статистично обробляли із використанням модулів кореляційного, дисперсійного, регресійного та факторного аналізів у рамках пакета *Statistica 10.0*, включаючи розрахунки за рівняннями лінійної, ступеневої і логарифмічної регресії.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Узагальненням результатів проведення ґрунтово-геохімічних досліджень та аналізування отриманих даних щодо мікроелементного статусу ґрунтів різного генезису природно-кліматичних зон України, нами було встановлено, що мікроелементний статус ґрунтів та рухомість МЕ і ВМ обумовлені як рівнями вмісту загального гумусу, його груповим та фракційним складом, так і рівнем гідролітичної кислотності та вмістом фізичної глини у ґрунтах, а баланс між процесами мінералізації і синтезу органічних сполук визначається стійкістю ГК та стабільністю у часі співвідношення $S_{гк}/C_{фк}$ (Samokhvalova et al., 2011; Pat. na korysnu model 95649 UA, 2014).

Встановлено також закономірні зв'язки рухомості більшості МЕ /ВМ у ґрунтах різного генезису з умістом ФК за відсутності та під впливом забруднення ґрунтів ВМ, збільшення інтенсивності процесів мінералізації органічної речовини ґрунту за техногенного впливу (Samokhvalova, Fateev, 2006) та зменшення енергоємності ґрунту у 1,5–3,2 рази (Zholudeva, 2010).

За проведення довгострокових польових досліджень нами було виявлено, що ґрунти різних типів характеризуються певним рівнем енергоємності (Skrylnyk, 2008, 2010). Так, встановлено, що максимальне накопичення енергії у шарі 0–20 см коливається від 0,91 МДж /кг у чорноземі типовому легкосуглинковому слабовилугованому до 1,17 МДж /кг у чорноземах типових важкосуглинкових та 1,06 МДж/кг у чорноземі звичайному на лесовидному суглинку. Також, результатами

визначання питомої теплоти згоряння препаратів вільної та зв'язаної з рухомими півтораоксидами фракції гумінових кислот (ГК-1) і фракцій ГК-3, що зв'язані з глинистою фракцією і стійкими півтораоксидами, встановлено максимальну кількість енергії у лабільних формах ГК, диференціацію показника згідно з типом ґрунту та його гранулометричним складом (рис. 1), що доводить системний характер гумусу як продукту ґрунтоутворення і є свідченням якості енергетичних зв'язків за закономірних трансформацій енергії та кількісного і якісного складу гумусу ґрунту певного типу.

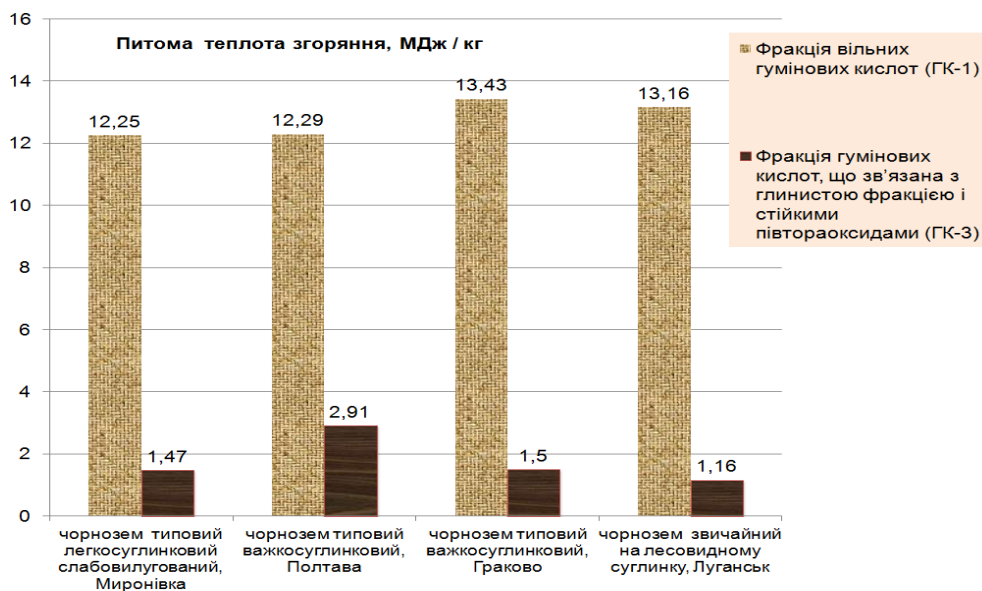


Рис. 1. Енергоємність ГК ґрунтів різного генезису

До того ж нами було встановлено (Skrylnyk, 2010; Shedyey, 2006, 2010; Lopushniak, 2013) переваги використання органо-мінеральної системи удобрення на ґрунтах різних типів за одночасного підвищення показників їх енергоємності в орному шарі та позитивного впливу на родючість ґрунтів за енергоощадності з регулюванням енергоємності ґрунту. Такий результат забезпечено нагромадженням гумусових сполук у ґрунті та підвищенням частки ГК і негідролізованого залишку з властивою їм найвищою енергоємністю. Підвищення енергетичних показників у шарі ґрунту 0–20 см свідчить про інтенсивні процеси гуміфікації. В той же час показники енергоємності ґрунту перелугу свідчать про встановлення динамічної рівноваги (надходження речовин і енергії перевищує або близьке до їх втрат внаслідок мінералізації) за тривалого виведення земель із сільськогосподарського використання. Найвищими показниками енергоємності характеризувався цілинний ґрунт. Отже, доведено, що технологічне та техногенне навантаження є вагомими факторами впливу на еколого-енергетичний стан ґрунтів різних типів (табл. 1).

Узагальненням даних, отриманих у різних ґрунтово-кліматичних зонах, встановлено, що ефективність прогнозу вмісту МЕ і ВМ у ґрунті підвищується саме за додаткового використання показників енергетичного стану ґрунтів та алгоритму, що пропонується у заявленому способі, чим забезпечується його технічний результат – підвищення точності і прогнозованості якісного стану ґрунту; експресність прогнозування елементного статусу ґрунту для оцінювання екологічних функцій за використання показників енергетичного стану ґрунтів різних типів, у тому числі під впливом технологічного навантаження і техногенного забруднення.

Таблиця 1

Енергоємність ґрунтів різного генезису за фонових умов та впливу технологічного навантаження й техногенного забруднення ВМ

Енергоємність (теплотворна здатність гумусу) ґрунтів				
Тип ґрунту	Контроль (без добрив)	Технологічне навантаження (система удобрення)		
		Органічна система	Мінеральна система	Органо- мінеральна система
МДж / кг				
Чорноземи типові важкосуглинкові	0,96–1,17	1,07–1,23	1,15	1,28
Чорноземи типові легкосуглинкові	0,91–1,06	0,89–0,84	0,73–0,75	0,97
Чорнозем опідзолений важкосуглинковий	1,04 (переліг)	0,93	0,8	0,98
Темно-сірий легкосуглинковий	0,94	0,97	0,94	0,98
Чорнозем звичайний середньосуглинковий	Контроль (без забруднення)		Техногенне навантаження	
	МДж / кг			
	0,97 (рілля)	1,99 (цілинний степ)	0,62–0,78	

Аналіз існуючої патентної документації свідчить про те, що близьким за технічною суттю до розробленого способу є відомий спосіб визначання реакційної здатності гумусу ґрунту для прогнозу вмісту рухомої органічної речовини та оцінювання родючості ґрунту за впливу антропогенних факторів (Автор. св. SU № 1291545, 1987). Спосіб передбачає визначення вмісту активного гумусу за різницею вмісту загального і пасивного гумусу, ємності обміну активного гумусу ґрунту – за різницею між загальною ємністю катіонів (ЄОК) ґрунту та пасивного гумусу і мінеральної частини ґрунту. За відношенням ЄОК активного гумусу до вмісту активного гумусу оцінюють реакційну здатність гумусу ґрунту.

Недоліки способу: 1) відсутність показників вмісту хімічних елементів у ґрунті, що характеризують специфічність взаємозв'язків з органічними сполуками ґрунту, з можливістю їх відповідного діагностування; 2) відсутність комплексних показників, що більш точно характеризують якість органічної речовини ґрунту і показників точності прогнозних оцінок щодо якості гумусу за різних видів навантажень; 3) трудомісткість і часовитратність процесу виділення активного гумусу збільшує ризик якісного і кількісного хімічного і біологічного його перетворення у ґрунті та, відповідно, значно обмежує можливості використання і збільшує ресурсовитратність реалізації способу.

Відомо інший спосіб прогнозування рівнів вмісту рухомих форм Zn і Cu у ґрунті за антропогенного навантаження (Pat. на korysnu model 58720 UA, 2011) передбачає розрахунок на основі математичних моделей співвідношення мінерального азоту до рухомого фосфору з подальшим визначанням прогнозованого вмісту рухомих форм металів у ґрунті за регресійними рівняннями. Недоліками способу слід вважати: 1) обмеженість його застосування лише на зрошуваному темно-каштановому ґрунті та для прогнозування вмісту лише Zn і Cu, що призводить до зниження точності та збільшення похибок прогнозування вмісту хімічних елементів у ґрунтах різних природно-кліматичних зон; 2) збільшення рухомості металів-токсикантів у ґрунті та їх міграції у суміжні з ґрунтом середовища за систематичного внесення фізіологічно кислих добрив; 3) існуючий ризик негативного впливу на якість органічної речовини ґрунту за рахунок посилення

рухомості органічних сполук, їх мінералізації і деструкції, спрощення їхньої структури. Отже, спосіб характеризується певною кількістю факторів, що впливають на збільшення похибок вимірювань за одночасного зниження прогностичної цінності отриманих даних щодо вмісту МЕ /ВМ у ґрунтах.

Найбільш близьким за механізмом реалізації і результатом, що досягається, є спосіб прогнозування забезпеченості ґрунтів МЕ за математичними моделями (Pat. na kogysnu model 89939 UA, 2013). Спосіб включає відбір зразків, їх аналізування з визначанням середнього вмісту вуглецю гумінових (ГК) і фульвокислот (ФК) та співвідношення $C_{ГК} / C_{ФК}$, статистико-математичний аналіз з одержанням регресійних рівнянь та визначання прогнозованого вмісту МЕ (ВМ) у ґрунті.

Недоліками запропонованого способу є: 1) обмеженість використання показника $C_{ГК} / C_{ФК}$ для прогнозування змін якості гумусу за інтенсивного сільськогосподарського використання ґрунтів (Avtor. sv. SU № 1291545, 1987) та збільшення недостовірності отриманих даних за можливої нестабільності у часі співвідношення $C_{ГК} / C_{ФК}$, недоведеності існування ФК, як групи сполук у ґрунтах, у вільному стані (Orlov, 1999); 2) обмеженість використання показника $C_{ГК} / C_{ФК}$ за визначання прогнозованого вмісту рухомих форм МЕ /ВМ, як за оцінювання рівня забезпеченості ґрунтів МЕ, так й небезпеки надлишкового накопичення ВМ у ґрунтах за техногенного і технологічного навантаження (Pat. na kogysnu model 95649 UA, 2014), внаслідок впливу на співвідношення $C_{ГК} / C_{ФК}$ вмісту рухомих форм МЕ /ВМ у ґрунтах різного генезису, який неможливо урахувати як через їх високу природну просторову варіабельність, так і за умов забруднення ВМ із збільшенням рухомості ВМ і органічної речовини ґрунту за одночасного дисбалансу вмісту ГК та ФК, зменшення рухомості МЕ, що унеможливує коректне визначання показника $C_{ГК} / C_{ФК}$ ґрунтів; 4) значна різниця у величинах енергоємності ГК та ФК ґрунтів (ГК – 7,6–8,6 ккал /г, ФК – 3,8–4,3 ккал /г (Tarariko, Neshmashna, 2000, 2007) унеможливує коректне використання показника $C_{ГК} / C_{ФК}$, як діагностичного та оціночного, призводить до вагомого зниження ефективності прогнозування вмісту ВМ /МЕ у ґрунті за одночасного збільшення трудомісткості і ресурсовитратності реалізації способу та фактору невизначеності у прогнозних оцінках.

Існуюча можливість використання іншого діагностичного показника загального вмісту гумусу у ґрунті, процентний вміст якого є індикатором його потенційної продуктивності (Smirnov, Muravin, 1981), теж має обмеження за рахунок похибки методу 15–20 %, що впливає на точність визначення прогнозованих значень характеристик ґрунту. Тому для прогнозування рівнів вмісту хімічних елементів, гумусового та /або енергетичного стану ґрунту певного типу необхідно систематизувати дані для визначення діагностичних критеріїв оцінювання якості органічної речовини ґрунту, що потребує проведення додаткових досліджень з урахуванням зв'язку продукційної функції ґрунту (родючості) з якісним складом гумусу (Kovda, 1973, 1974; Volobuev, 1974, 1982, 1983) за використання інтегральних показників гумусового стану ґрунтів - енергоємності органічної речовини ґрунту (питома внутрішня енергія гумусу або теплотворна здатність гумусу; загальні запаси енергії у шарі 0–20 см), як більш об'єктивних показників потенційної продуктивності ґрунту, що тісно пов'язані з властивостями ґрунтів, які визначають рухомість та рівень вмісту МЕ /ВМ у ґрунтах різних типів за природних умов, техногенного забруднення та технологічного навантаження. Використання узагальнюючих енергетичних характеристик функціонування ґрунтової системи дозволяє отримати точні прогнозні дані щодо якості ґрунту певного типу (елементний статус, якість гумусу як акумулятору і джерела енергії, енергетичний стан) для оцінювання їх екологічних функцій; здійснювати управління відтворенням енергетичного потенціалу їх органічної речовини та якістю ґрунтів.

Доцільність використання показників енергетичного стану ґрунтів різного генезису для прогнозування їх елементного статусу обумовлена тим, що екологічні та продукційні функції ґрунту певного типу визначаються вмістом енергетично

збагачених продуктів фотосинтезу, що накопичуються гумусом ґрунту у вигляді потенціальної енергії та трофічних сполук, а різні типи ґрунтів відрізняються за здатністю акумулювати або втрачати енергію. Ґрунт, як відновлювальна система та джерело природної енергії, характеризується меншою структурною однорідністю та довгочасним збереженням і поступовістю у вивільненні енергії. Тому стабільність процесів гуміфікації-мінералізації у ґрунтовій системі визначає її динамічну рівновагу та здатність ґрунтового покриву відновлювати енергетичні ресурси внаслідок накопичення і розподілу енергії, що утворилась за фотосинтезу.

Оцінювання характеру та інтенсивності біотичних процесів (розкладання і синтезу органічних речовин, біохімічна і мікробіологічна активність ґрунту тощо) ґрунтової системи певного типу, які пов'язані з запасами і трансформацією асимільованої сонячної енергії, що акумулюються у гумусі ґрунтів і рослинах, надає можливість прогнозування біоенергетичного стану ґрунтів за показниками їх біотичних та мінеральних трансформацій. В той же час використання інтегральних кількісних діагностичних характеристик щодо енергетики ґрунтоутворення і функціонально-екологічної діагностики генетичного статусу ґрунтів дає можливість оцінювати якісний стан ґрунту певного типу, робити попередні прогнози втрат ґрунтової енергії. Отже, залучення до використання показників відповідності рівня енергоємності певного типу ґрунту з показниками вмісту МЕ, ВМ та показниками гумусового стану ґрунту (загальний вмісту гумусу, груповий і фракційний склад органічної речовини тощо) забезпечує точність визначення існуючих взаємозв'язків процесів і функцій у ґрунтовій системі. Рациональне використання енергії ґрунту є шляхом збереження і відновлення його базової властивості – родючості, в тому числі, і за технологічного навантаження та ризику і наявності техногенного забруднення.

Урахування змін інтегральних енергетичних показників ґрунту дозволяє здійснювати оцінювання екологічних функцій ґрунту, агротехнологій, систем удобрення та землеробства і агро - та екосистем, що надає можливість визначити перспективні напрями більш повного використання ґрунтових ресурсів, усунення негативних впливів на еколого-енергетичний стан ґрунтів за використання менш енергоємних заходів для відновлення функцій ґрунтів за проявів деградаційних процесів і зменшення витрат антропогенної енергії на їх подолання.

За результатами інформаційно-аналітичних досліджень встановлено існуючі у ґрунтах різних типів залежності показників їх енергоємності (теплотворна здатність гумусу, запаси енергії у шарі 0–20 см), як інтегральних показників гумусового стану ґрунтів, та вмісту МЕ /ВМ (табл. 2–4, рис. 2) та істотні відмінності між вибірками даних, проведено оцінювання впливу фактору техногенного забруднення ВМ та /або технологічного навантаження за запропонованих систем удобрення і доведено достовірність їх впливу на результативну ознаку (вміст МЕ /ВМ у ґрунті) з одержанням відповідних рівнянь залежностей (моделі), на базі яких розраховано прогнозовані значення вмісту рухомих форм МЕ та/або ВМ, наприклад, вміст рухомих форм C_{Fe} , C_{Mn} у ґрунтах опідзоленого ряду (дерново-підзолисті, ясно-сірі, сірі опідзолені та темно-сірі) за формулами 2–3:

$$C_{Fe} = -27,28 - 221,9794 x + 157,112 y, \quad (2)$$

$$C_{Mn} = 200,49 + 803,5154 x - 647,166 y, \quad (3)$$

та чорноземних (чорноземи типові, звичайні і південні) ґрунтах за формулами 4–5:

$$C_{Fe} = -5,18 + 19,1408 x - 4,7695 y, \quad (4)$$

$$C_{Mn} = 70,68 - 85,8516 x + 8,8921 y, \quad (5)$$

де C_{Fe} , C_{Mn} – прогнозований (розрахунковий) вміст рухомих сполук відповідного металу у ґрунті, мг/кг; x – теплотворна здатність гумусу ґрунту, МДж /кг; y – запаси енергії в шарі ґрунту 0–20 см, 10^6 кДж /га (або 10^3 МДж /га).

Встановлені закономірні зв'язки показників властивостей ґрунту представляють на діаграмах (рис. 2, а–е) та у форматі відповідних рівнянь (2–7) і електронних таблиць

отриманих даних (табл. 2–3) та поширюють алгоритм способу на ґрунти інших типів певної природно-кліматичної зони за умов техногенного забруднення і технологічного навантаження.

Таким чином, наприклад, встановлені лінійні залежності вмісту рухомих форм МЕ /ВМ та енергетичних показників ґрунту характеризують наступні рівняння:

1) для ґрунтів опідзоленого ряду (дерново-підзолисті, ясно-сірі, сірі опідзолені та темно-сірі):

$$C_{Mn} = 200,49 + 803,5154x - 647,166y \quad (6)$$

$$C_{Mn \text{ дерн.-підзол. ґрунт}} = 200,49 + 803,5154 \times 0,11 - 647,166 \times 0,414 = 20,95;$$

$$C_{Mn \text{ фактичний}} = 20,97$$

$$C_{Mn \text{ темно-сірий ґрунт}} = 200,49 + 803,5154 \times 0,61 - 647,166 \times 1,04 = 17,58;$$

$$C_{Mn \text{ фактичний}} = 17,6$$

2) для чорноземних (чорноземи типові, звичайні і південні) ґрунтів:

$$C_{Mn} = 70,68 - 85,8516x + 8,8921y \quad (7)$$

$$C_{Mn \text{ чорнозем типовий}} = 70,68 - 85,8516 \times 0,91 + 8,8921 \times 20,007 = 12,56;$$

$$C_{Mn \text{ фактичний}} = 12,54$$

$$C_{Mn \text{ чорнозем звичайний}} = 70,68 - 85,8516 \times 0,79 + 8,8921 \times 1,74 = 18,3;$$

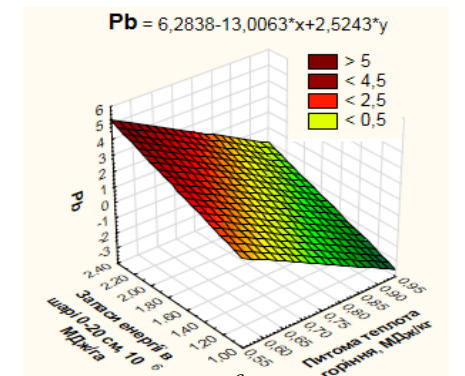
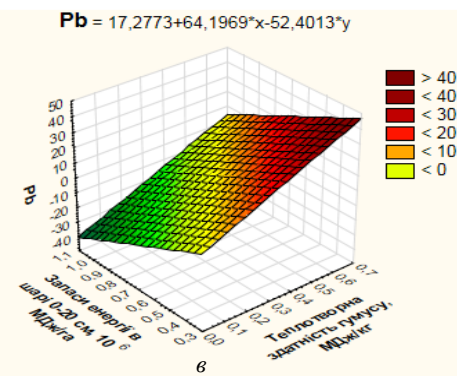
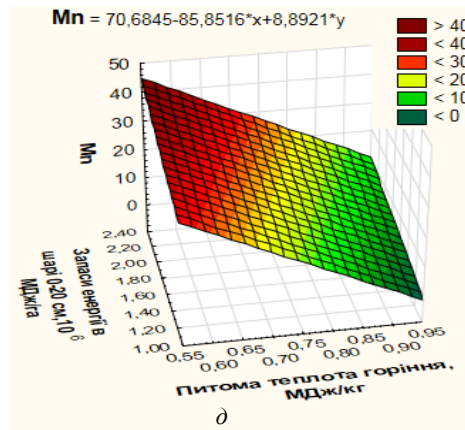
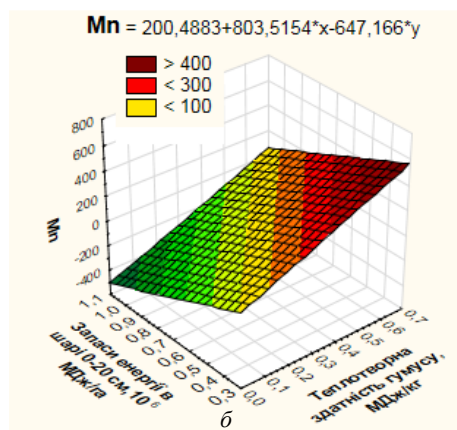
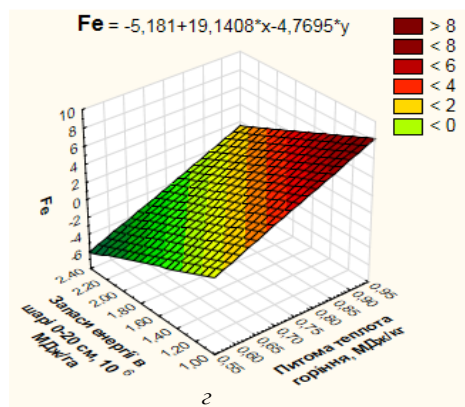
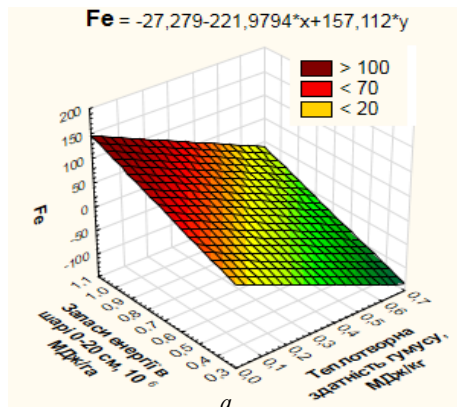
$$C_{Mn \text{ фактичний}} = 18,18$$

де C_{Mn} – прогнозований (розрахунковий) вміст рухомих сполук марганцю у ґрунті, мг/кг; x – теплотворна здатність гумусу ґрунту певного типу, МДж /кг; y – запаси енергії в шарі ґрунту 0–20 см певного типу, 10^6 кДж/га (або 10^3 МДж /га).

Таблиця 2

Вихідні дані гумусового стану ґрунтів та щільності їх будови, вмісту свинцю за фонових умов та впливу техногенного і технологічного навантажень

Тип ґрунту	$C_{заг.}, \%$	$C_{ГК}, \%$	$C_{ФК}, \%$	ГЗ, %	$d, \text{г/см}^3$	Pb, мг/кг ґрунту
<i>За відсутності навантажень (фонові умови)</i>						
Дерново-підзолисті	0,9	0,17	0,2	0,53	1,5	2,4
Сірі опідзолені	1,2	0,27	0,3	0,63	1,5	2,15
Темно-сірий	3,1	1,1	0,54	1,46	1,3	1,2
Чорнозем опідзолений	2,44	1,0	0,31	1,13	1,2	1,95
Чорнозем звичайний	3,9	1,25	0,7	1,95	1,1	0,38
Чорноземи типові	4,8	1,75	0,6	2,45	1,2	0,12
<i>Під впливом техногенного навантаження (забруднення ВМ)</i>						
Чорнозем звичайний забруднений	2,08	0,38	0,5	1,2	1,2	18,5
Чорнозем опідзолений забруднений	1,9	0,2	0,4	1,3	1,2	6,5
Дерново-підзолистий забруднений	0,79	0,1	0,2	0,49	1,5	9,1
<i>Під впливом технологічного навантаження</i>						
Чорнозем опідзолений (контроль)	2,44	1,0	0,31	1,13	1,2	1,5
Чорнозем опідзолений (органомінеральна система удобрення)	2,47	0,99	0,31	1,17	1,2	0,9
Чорнозем опідзолений (мінеральна система удобрення)	2,38	0,93	0,29	1,16	1,2	2,0



Грунти опідзоленого ряду

Чорноземні ґрунти

Рис. 2. Визуалізовані моделі встановлених залежностей показників енергетичного стану ґрунту та рівнів вмісту Fe, Mn та Pb

Використання наведених формул на інших типах ґрунтів, у тому числі і при впливі технологічного навантаження і техногенного забруднення, підтвердило універсальність отриманих рівнянь. Отримані формули розрахунків прогностичних значень вмісту хімічних елементів є універсальними для ґрунтів різних типів, що об'єднані в ряди за ознакою переважання ґрунтового процесу, наприклад, ґрунти опідзоленого ряду, чорноземні ґрунти. Далі поширюючи алгоритм способу на інші типи ґрунтів, так само, проводять розрахунки з одержанням відповідних рівнянь залежностей (моделей), за якими визначають прогнозовані значення вмісту рухомих

форм МЕ /ВМ у ґрунтах як за фонових умов, так і за впливу антропогенних навантажень на ґрунт з внесенням отриманих результатів у таблицю (табл. 4).

Таблиця 3

Зміна показників енергоємності ґрунтів за фонових умов та впливу техногенного і технологічного навантажень

Тип ґрунту	Енергоємність ґрунту	
	Теплотворна здатність гумусу, МДж/кг	Q, запаси енергії в шарі 0–20 см, 10 ³ МДж/га
<i>За відсутності навантажень (фонові умови)</i>		
Дерново-підзолисті	0,106	0,44
Сірі опідзолені	0,188	0,58
Темно-сірий	0,840	1,40
Чорнозем опідзолений	0,820	1,03
Чорнозем звичайний	0,890	1,46
Чорноземи типові	0,913	2,02
<i>Під впливом техногенного навантаження (забруднення ВМ)</i>		
Чорнозем звичайний забруднений	0,790	0,81
Чорнозем опідзолений забруднений	0,650	0,74
Дерново-підзолистий забруднений	0,090	0,37
<i>Під впливом технологічного навантаження</i>		
Чорнозем опідзолений (контроль)	0,99	1,02
Чорнозем опідзолений (органомінеральна система удобрення)	0,98	1,04
Чорнозем опідзолений (мінеральна система удобрення)	0,94	1,00

Так, розрахунковий вміст рухомих форм, наприклад, Мп у ґрунтах підзолистого ряду становить 15,90–20,97 мг/кг за фонових умов; до 45,66 мг/кг ґрунту за технологічного навантаження. Вміст Мп у чорноземних ґрунтах за фонових умов становив до 30,72 мг/кг; за техногенного забруднення ВМ – 22,20 мг/кг ґрунту. Співставлення отриманих розрахункових даних з даними фактичного вмісту МЕ та ВМ у ґрунтах свідчать про високу їх відповідність та точність. Отже, було отримано дані щодо елементного статусу ґрунтів різного генезису за урахування їхньої енергоємності із одночасним забезпеченням точності прогнозу екологічного стану ґрунтів щодо ризику нестачі МЕ та накопичення надлишку ВМ з можливістю прогнозування не тільки мікроелементного статусу, але й енергетичного і гумусового стану ґрунтів різних природно-кліматичних зон з оцінюванням їх якості (табл. 4) за реалізації можливості вирішення зворотної задачі розрахунку кількісних параметрів одного показника на підставі кореляційно пов'язаних з ним відомих інших. Наприклад, теплотворну здатність гумусу та/або запаси енергії для ґрунту певного типу на підставі відомого показника вмісту МЕ і ВМ і /або показників енергоємності органічної речовини ґрунту з метою оцінювання характеру та інтенсивності біотичних процесів ґрунтової системи певного типу.

Розподіл ґрунтів за якістю здійснено за класифікації способом групування масиву даних за ознакою їх енергоємності на якісно зіставні класи із рівними інтервалами з попереднім визначанням їх кількості (N) та урахуванням об'єму вибірки (V) відповідно до відомої формули: $N = 2 \ln V$. Величину інтервалу (A), як ознаку класифікації, визначено діленням розмаху варіації на число інтервалів за відомою формулою:

$$A = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{N}, \quad (8)$$

де X_{\min} та X_{\max} – максимальне і мінімальне значення ознаки класифікації.

Таблиця 4

Розраховані та фактичні параметри елементного статусу ґрунтів різних типів за фонових умов та впливу антропогенних навантажень									
Метал	Прогнозований / фактичний* вміст рухомих форм МЕ та ВМ у ґрунті, мг/кг ґрунту					Чорноземні ґрунти			
	Ґрунти опідзоленого ряду		Темно-сірий	Чорнозем тиловий	Чорнозем звичайний	Чорнозем підденний			ГДК
	Дерново-підзолистий	Ясно-сірий				Чорнозем звичайний	Чорнозем звичайний	Чорнозем звичайний	
За відсутності навантажень на ґрунт (фонові умови)									
Fe	13,3 / 13,45*	12,3 / 12,53*	0,78 / 0,71*	1,6 / 1,52*	1,75 / 1,67*	0,52 / 0,5*	–	–	–
Mn	20,95 / 20,97*	15,9 / 15,67*	17,58 / 17,6*	12,56 / 12,54*	18,3 / 18,18*	30,5 / 30,72*	100	100	100
Pb	2,6 / 2,65*	2,04 / 2,1*	1,7 / 1,9*	0,16 / 0,12*	0,41 / 0,38*	1,63 / 1,61*	6,0	6,0	6,0
Zn	1,69 / 1,69*	1,93 / 1,92*	1,09 / 1,06*	1,82 / 1,8*	0,20 / 0,15*	1,05 / 1,02*	23	23	23
Cd	0,03 / 0,13*	0,15 / 0,15*	0,15 / 0,15*	0,2 / 0,13*	0,16 / 0,11*	0,21 / 0,2*	–	–	–
Ni	0,25 / 0,24*	0,58 / 0,56*	0,89 / 0,82*	0,7 / 0,74*	1,5 / 1,51*	0,60 / 0,63*	4,0	4,0	4,0
Cu	0,36 / 0,36*	0,49 / 0,5	0,20 / 0,22*	0,1 / 0,19*	0,02 / 0,09*	0,14 / 0,19*	3,0	3,0	3,0
Cr	0,54 / 0,55*	0,58 / 0,59*	0,15 / 0,18*	0,28 / 0,21*	0,36 / 0,31*	0,47 / 0,44*	6,0	6,0	6,0
Co	0,32 / 0,31*	0,22 / 0,21*	0,1 / 0,05*	0,19 / 0,11*	0,27 / 0,21*	0,55 / 0,51*	5,0	5,0	5,0
Під впливом органічно-мінеральної системи удобрення (технологічне навантаження)									
Метал	<i>Темно-сірий</i>								
Mn	45,42 / 45,66*								
Pb	1,13 / 1,15*								
Zn	1,56 / 1,59*								
Cd	0,11 / 0,11*								
Ni	0,83 / 0,82*								
Cu	0,19 / 0,19*								
Cr	0,19 / 0,19*								
Co	0,11 / 0,11*								
Під впливом забруднення ВМ (техногенне навантаження)									
Метал	<i>Чорнозем звичайний</i>								
Mn	22,4 / 22,2*								
Pb	10,41 / 10,31*								
Zn	54,9 / 54,0*								
Cd	1,69 / 1,8*								
Ni	25,3 / 24,5*								
Cu	22,37 / 22,56*								
Cr	66,49 / 66,14*								
Co	2,18 / 2,10*								

Так, у нашому випадку – $N = 2 \ln 8 = 4,1$; $A = 0,913 - 0,106 / 4 = 0,20$. Ураховуючи величину інтервалу варіаційний ряд значень розподілено на якісно порівнянні класи (табл. 5). Таким чином, 1-й клас якості об'єднує ґрунти, що мають більший запас енергії, є більш стійкими до зовнішніх впливів та характеризуються більшою продуктивністю; 4-й клас якості об'єднує ґрунти з найменшими показниками енергоємності.

Таблиця 5

Ранжування продуктивної функції ґрунтів за показником енергоємності як критерію їхнього еколого-енергетичного стану

Оцінювання ґрунтів різного генезису за якістю			
Ґрунт	Клас якості	Енергоємність ґрунту	Продуктивна функція (родючість)
Полісся. <i>Дерново-підзолистий</i>	4	<0,11	низька
Лісостеп. <i>Ясно-сірий</i>	4		
Лісостеп. <i>Сірий опідзолений</i>	3	0,31–0,51	середня
Лісостеп. <i>Темно-сірий</i>	3		
Степ. <i>Темно-каштановий</i>	3		
Степ. <i>Чорнозем південний</i>	2	0,51–0,71	висока
Степ. <i>Чорнозем звичайний</i>	1	>0,71	дуже висока
Лісостеп. <i>Чорнозем типовий</i>	1		

Отже, спосіб дозволяє за рівнем енергетичного стану ґрунтів нормувати їх якість, а також коригувати вміст МЕ /ВМ, проведення заходів регулювання запасів органічної речовини ґрунту за різних систем ведення сільського господарства, впливів технологічного навантаження і техногенного забруднення на ґрунт та підтримання і збереження показників його енергоємності як критеріїв визначення його якості. Тобто є можливість керованого впливу на процеси, що сприяють скороченню вільної енергії у ґрунті та забезпечують збільшення ентропії і енергії, що пов'язана з гумусом, що сприяє підвищенню продуктивності ґрунтів.

Науково-технічну розробку доцільно використовувати в екологічному нормуванні вмісту МЕ та нормуванні навантажень (техногенних, технологічних) на ґрунтову систему, агроекології за вирішення питань органічного землеробства, біоенергетики та енергетики ґрунтоутворення; діагностики, оцінювання, прогнозування якості гумусу і статусу МЕ та небезпеки надлишкового накопичення ВМ у ґрунтах за показниками енергетичного стану; ефективного екологічного менеджменту ґрунтів як за природних умов, так і за впливу різних антропогенних факторів, ураховуючи їх екологічні функції; у науково-дослідній практиці - за системного дослідження природних компонентів біосфери, оцінки секвестрації вуглецю у ґрунтах та нормуванні і оцінки їхньої якості.

ВИСНОВКИ

Розроблено спосіб прогнозування рівнів вмісту МЕ /ВМ у ґрунтах різного генезису для оцінювання їх екологічних та продукційних функцій. Відмінними рисами та перевагами запропонованого технічного рішення, у порівнянні з відомими способами та підходами, є такі: 1) більша прогнозованість енергетичного і мікроелементного статусу, гумусового та екологічного стану ґрунту в цілому для попередження деградації органічної речовини ґрунтів та зниження ризиків впливу техногенного забруднення ВМ; 2) експресність отримання та підвищення точності прогнозованих значень вмісту МЕ / ВМ у ґрунтах; 3) універсальність завдяки придатності способу для всіх типів ґрунтів різних природно-кліматичних зон; 4) можливість використання даного алгоритму для оцінювання та нормування якості ґрунтів різного генезису за використання будь-яких екологічних або продукційних

функцій ґрунту та виявлення оптимальних енергетичних витрат на їх відтворення; 5) стимулювання подальших досліджень щодо енергетики ґрунтоутворення та вирішення практичних завдань збереження і відновлення функцій ґрунтів різного генезису.

* * *

Автори висловлюють щире подяку патентному повіреному ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського» науковому співробітнику В. М. Горякіній за сприяння та дієву допомогу в підготовці документації щодо розроблення нового технічного рішення та його інформаційно-аналітичного супроводження.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

- Dobryva ta yikh vykorystannia, 2010 [Fertilizers and their use: A Handbook]. Aristey, Kyiv (in Ukrainian).
- Fateev, A. I., Samokhvalova, V. L., 2012. Diahnostyka stanu khimichnykh elementiv systemy hrunt-roslyna [The diagnosis of the chemical elements of the system soil-plant]. KP «Urban Typography», Kharkov (in Ukrainian).
- Kovda, V. A., 1973. Osnovy uchenija o pochvah. Obshhaja teorija pochvoobrazovatel'nogo processa [Fundamentals of soils. The general theory of soil-forming process]. Nauka, Moscow (in Russian).
- Kovda, V. A., 1974. Biosfera, pochvy i ih ispolzovanie [The biosphere, soil and their use]. Materials X Intern. Congress of Soil Science. Moscow (in Russian).
- Lopushniak, V. I., 2013. Ahrokhimichni ta ahroekolohichni osnovy system udobrennia silskohospodarskykh kultur u Zakhidnomu Lisostepu Ukrainy [Agrochemical bases and agri-environmental fertilization of crops in western steppes of Ukraine]. Dissertation of doctor of Agricultural Sciences: 06.01.04 – agrochemistry. Kharkiv (in Ukrainian).
- Medvedev, V. V., Plisko, I. V., 2003. Prognoz izmenenij bonitetov pochv Ukrainy [Prognosis of changes in soil fertility Ukraine]. Gruntoznavstvo 4(1–2), 11–18 (in Russian).
- Orlov, D. S., 1999. Pochvennye fulvokisloty: istorija ih izuchenija, znachenie i realnost [Soil fulvic history of their study, the meaning and reality]. Eurasian Soil Science 9, 1165–1171. (in Russian).
- Orlov, D. S., Birjukova, O. N., Rozanova, M. S., 2004. Dopolnitelnye pokazateli gumusnogo sostojanija pochv i ih geneticheskikh gorizontov [Additional indicators humus status of soils and their genetic horizons]. Eurasian Soil Science 8, 918–926 (in Russian).
- Orlov, D. S., Grishina, L. A., 1981. Praktikum po himii gumusa [Workshop on Chemistry humus]. MGU, Moscow (in Russian).
- Orlov, O. L., 2002. Enerhoiemnist yak kryterii humusovoho stanu gruntiv [Energy intensity as a criterion of soil humus]. Bulletin of Lviv NU. Biology Series 31, 111–115 (in Ukrainian).
- Pat. na korysnu model 58720 UA, 2011. Sposib prohnozuvannia zmin vmistu rukhomykh form tsynku i midi u zroshuvanomu temno-kashtanovomu grunti pry systematychnomu vnesenni mineralnykh dobryv [Pat. for useful model 58720 UA, 2011. Method of predicting changes in the content of mobile forms of zinc and copper in irrigated dark brown soil at regular fertilization]. A. V. Melashych, I. D. Filipiev, R. A. Vozhehova, et al.; U201010994; appl. 13.09.2010; publ. 26.04.2011, Bull. 8 (in Ukrainian).
- Pat. na korysnu model 89939 UA, 2013. Sposib prohnozuvannia zabezpechenosti gruntiv mikroelementamy [Method of predicting soil micronutrients availability]. A. I. Fateev, D. O. Semenov, K. B. Smirnova, et al.; № u201311847; appl. 08/10/2013; publ. 05.12.2014, Bull. 9 (in Ukrainian).
- Pat. na korysnu model 95649 UA, 2014. Sposib prohnozuvannia vmistu rukhomykh form vazhkykh metaliv ta mikroelementiv u gruntovii systemi dlja efektyvnosti remediacii i vykorystannia [Pat. for useful model 95649 UA, 2014. The method of forecasting the content of mobile forms of heavy metals and trace elements in soil remediation system for efficiency and the using]. V. L. Samokhvalova, V. I. Lopushniak, A. I. Fateev, V. M. Horiakina, № u201408753; publ. 25.12.2014; Bul. 24 (in Ukrainian).
- Rozrobyty systemu operativnoi informatsii shchodo stanu gruntiv v ekolohichno chystykh ahrozonakh ta opratsiuvaty zakhody z polipshennia yikh produkciinykh i ekolohichnykh funktsii [Develop a system of timely information on the state of soil in clean ahrozonah and work out measures to improve their ecological functions and produkciinyh: report on research 01.02.02-

- 031 / NSC «ISSAR name Sokolovsky»]. Guiding. M. M. Miroschnichenko; Kharkiv, 0106U004783 (in Ukrainian).
- Samokhvalova, V. L., Fateev, A. I., 2006. Vplyv tekhnogennoho polielementnoho zabrudnennia vazhkymy metalamy na orhanichnu rechovynu gruntu [Influence of technogenic-element heavy metal pollution on soil organic matter]. Scientific Bulletin of Chernivtsi NU 293. Series Biology, 152–163 (in Ukrainian).
- Samokhvalova, V. L., Fateev, A. I., Luchnykova, E. V., 2011. Ekoloho-heokhimichna otsinka fonovoho rivnia vmistu riznykh form mikroelementiv gruntu [Ecological-geochemical assessment of background levels of various forms of micronutrient in soil]. Journal of LNU I. Franko. Biology Series 55, 125–133 (in Ukrainian).
- Shediei, L. O., Shevchenko, N. H., 2006. Enerhopotentsial chornozemu opidzolenoho za tradytsiinoi, orhanichnoi i resursozberihaiuchoi system zemlerobstva [Podzolic chernozem energy potential for traditional, organic farming systems and resource Agrochemistry and soil science]. Spec. issue to the VII Congress of the Ukrainian Soil Science Society and agrochemists. Kharkov. 3, 161–163 (in Ukrainian).
- Skrylnyk, E. V., 2008. Vmist, sklad, enerhoiemi- nist humusu ta yikh zmina [The content, composition, humus energy and their change]. Bulletin of Agricultural Science of Southern region of Ukraine 9, 36–40 (in Ukrainian).
- Skrylnyk, E. V., 2010. Transformatsiia humusovo- voho stanu gruntiv ta yikh enerhoiemo- nosti pid vplyvom riznykh system udobrennia [The transformation of soil humus and their power consumption under various fertilization systems]. Bulletin TSNZ APV Kharkiv region 7, 184–194 (in Ukrainian).
- Smirnov, P. M., Muravin, E. A., 1981. Agrohimi- ja [Agrochemicals]. Kolos, Moscow (in Russian).
- Tarariko, Y. O., Nesmashna, O. Y., 2000. Enerhetychna kharakterystyka osnovnykh typiv gruntiv Ukrainy zalezho vid sposobiv yikh vykorystannia [Energy characteristics of the main types of soil Ukraine depending on their uses]. Journal of Agricultural Sciences 4, 18–22 (in Ukrainian).
- Tarariko, Y. O., Nesmashna, O. Y., Lychuk, H. I., 2007. Otsinka ta rehuliuвання enerhoiem- nosti gruntiv [Assessment and regulation of energy intensity of soils]. Ukrainian fitotse- nology collection 25, 41–47 (in Ukrainian).
- Vlasiuk, P. A., Dmytrenko, P. O., 1962. Dovidnyk ahronoma po udobrenniu [Reference agronomist by fertilizing]. Derzhsilhosp- vydav, Kyiv (in Ukrainian).
- Volobuev, V. R., 1974. Vvedenie v jenergetiku pochvoobrazovanija [Introduction to the energetics of soil]. Nauka, Moscow (in Russian).
- Volobuev, V. R., 1982. Otsenka produktivnosti agrocenozov s ispol'zovaniem jenerge- ticheskikh kriteriev [Evaluation of produc- tivity agrotcenozov using energy criteria]. Eurasian Soil Science 7, 83–88 (in Russian).
- Volobuev, V. R., 1983. Agrojenergetika – aktualnaja nauchnaja i prakticheskaja problema [Agroenergetik is an actual scientific and practical problem]. Eurasian Soil Science 6, 83–89 (in Russian).
- Vyznachyty bioenerhetychni kharakterystyky gruntiv Stepovoi i Lisostepovoi zon Ukrainy dlia rozrobky ahrotekhnologii vidtvorennia humusu i optymizatsii enerhetychnoho ta ekolohichnoho stanu gruntiv [Identify bioenergetic characteristics of soil steppe and steppe zones of Ukraine to develop agricultural technologies play humus and energy and environmental optimization of soil: report on research 01.03.02 / 043 / NSC «ISSAR name Sokolovsky»]. Guiding. I. D. Zholudeva. Kharkiv. 0106U002945 (in Ukrainian).
- Avtor. sv. SU 1291545, 1987. Sposob opredelelnija reakcionnoj sposobnosti pochvy [Certificate of authorship SU 1291545, 1987. The method for determining the reactivity of soil]. E. A. Golovachev, A. A. Bacula, T. F. Kravec; applicant and patentee Ukrainian Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry by A. N. Sokolovsky; № 381 879 / 30-15; appl. 06/12/1984; publ.23.02.1987, Bul. 7 (in Russian).

Стаття надійшла в редакцію: 21.01.2016

Рекомендує до друку: д-р біол. наук, проф. В. М. Зверковський