

УДК 658.562

Н. О. Любимова, д-р техн. наук, доцент

Харківський національний аграрний університет ім. В.В. Докучаєва
(Харків, Україна)

ВІРОГІДНІСНИЙ МЕТОД ВИМІРУ УЗАГАЛЬНЮЮЧОГО ПОКАЗНИКА ЯКОСТІ ҐРУНТУ ПІД ЧАС ЙОГО ЕКОНОМІЧНОЇ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ

Запропоновано використання вірогіднісного методу виміру узагальнюючого показника якості ґрунту в задачах екологічного контролю. Розрахунок кроку опитування якісних показників ґрунту під час контролю (оптимальна дискретизація) дозволяє вирішити питання між економічними витратами на виконання контрольних операцій та їхню обробку і максимально необхідним рівнем вірогідності. Розглянуто основні підходи для мінімізації похибок та підвищення достовірності під час виконання завдань екологічного моніторингу.

Ключові слова: контроль, екологія, моніторинг, ґрунт, якість, вимір, узагальнюючий показник, розрахунок, оптимальний крок опитування.

Постановка проблеми. В усіх сферах діяльності людини на сучасному етапі розвитку людства першочерговою стоїть проблема вивчення та аналізу стану навколишнього середовища. Для прийняття рішення щодо поліпшення якості сільськогосподарських угідь, ефективного використання, підвищення родючості ґрунту та врожаїв необхідна адекватна інформація про стан екологічної системи – літосфери, зокрема ґрунту, за тим чи іншим показником. Своєчасна інформація щодо основних кількісних та якісних показників ґрунту допоможе раціонально застосовувати агротехнології, запобігти виснаженню родючого шару, негативному антропогенному впливу людини на ґрунт, отримати високі показники врожаїв. Своєчасна реєстрація концентрації забруднюючих речовин, які завдають шкоди агрономічній діяльності, та вживання екстрених заходів для боротьби з деградацією ґрунту дозволять здійснити об'єктивний прогноз рівня навантаження та розробити перспективні природоохоронні рекомендації для поліпшення стану навколишнього середовища. Від цього залежить забезпечення населення Землі продовольством, енергетичними та сировинними ресурсами.

Отримання максимальних показників при виконанні сільськогосподарських технологій з метою підвищення врожайності культур неможливо здійснити без застосування добрив, пестицидів та інших хімічних реагентів, спеціальних видів механічного обробітку ґрунту, і це додатково забруднює та руйнує ґрунт. У той же час треба дотримуватись земельних стандартів в галузі збереження та

відновлення родючості ґрунту. Для вирішення цієї проблеми необхідно якісно виконувати екологічний моніторинг та контроль ґрунту, а керування технологічними процесами в агрономії на базі отриманих даних контролю якості ґрунту стають пріоритетними для виживання людства [1]. Разом із вирішенням проблеми економічної та екологічної оцінки якості ґрунту на основі якісного та максимально достовірного контролю це дасть змогу населенню України отримувати максимальні врожаї, підвищити стратегічну стійкість, зберегти природні багатства для нащадків. Тому проблема економічної та екологічної оцінки якості ґрунту на базі сучасних методів його контролю є необхідною і першочерговою для фахівців України та корелює із отриманням високих урожаїв у землеробстві, процвітанню народу, вирішує найважливіші стратегічні завдання країни щодо забезпечення продовольством сьогодні та в майбутньому наших нащадків.

Аналіз сучасних досліджень. Зараз існує багато наукових праць у галузі агрономії, ґрунтознавства, екології, технічного контролю, які на високому фаховому рівні вирішують проблеми свого профілю [1-4]. Але при вирішенні своїх проблем та завдань фахівці не завжди звертають увагу на системний, багатоаспектний підхід під час виконання екологічного моніторингу якості ґрунту, недостатньо заглиблюються в аналіз і контроль структури, у виявлення максимального числа чинників взаємодії та зв'язків складових ґрунту для узагальнення його якості, зниження похибок моніторингу та контролю з метою покращання очищення від забруднень та підвищення родючості.

Необхідно дотримуватися норм під час обробітку ґрунту пестицидами, внесення добрив, передбачати втрати органічної речовини та біорізноманіття внаслідок посиленої нітрогенними добривами мінералізації, контролювати вибір сівозмін, види механічної обробки та ін.. [1-3]. Цій проблемі присвячено багато праць і наукових досліджень. Але ряд питань пов'язаних з виконанням контрольних операцій системним підходом у вирішенні завдань тощо потребують подальшого вивчення.

Формулювання цілей статті. Необхідна складова сільськогосподарського менеджменту повинна враховувати зв'язки між агроекологічними індикаторами та деградаційними процесами [2-5].

Якість ґрунту залежить від фізичних властивостей: ерозія (водна, вітрова, від обробітку...), ущільнення; хімічних (забруднення пестицидами, добривами, важкими металами, підкислення, засолення); біологічних (ґрунтове та водяне біорізноманіття тощо). Важливими є зв'язки між деградаційними процесами ґрунту й агроекологічними індикаторами [2-5].

Менеджмент господарства та оцінка стану ґрунту зокрема включають якісну та кількісну оцінку добрив, пестицидів, ґрунту, водних ресурсів та ін. Отримання точних математичних залежностей між різноманітними параметрами, фізіологічними процесами та функціональними показниками, що характеризують ґрунт як об'єкт контролю, на сучасному етапі є досить складним завданням, оскільки адекватний математичний апарат, що придатний для його опису, громіздкий та недосконалий. Тому розробка адекватних математичних моделей і методів контролю стану якості ґрунту, оцінки похибки отриманих результатів є необхідною та затребуваною фахівцями і широким загалом для використання у теоретичних та практичних дослідженнях.

Постановка задачі. Стан сучасних об'єктів контролю (промислових, екологічних, медичних, агрономічних та ін.) характеризується сукупністю деяких контрольованих параметрів, які можуть бути віднесені до групи режимних. Математично цю сукупність, наприклад, вміст гумусу, електропровідність, окисно-відновний потенціал тощо, можна уявити як векторний випадковий процес

$$\bar{x}(t) = x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t) \quad (1)$$

із безперервними компонентами. Зокрема, інколи режимні параметри можуть бути скалярними випадковими процесами $x(t)$ [1].

Якість функціонування об'єкта може бути визначена одним або декількома узагальнюючими показниками. В промисловості їх називають техніко-економічними показниками.

У найбільш загальному вигляді узагальнюючий показник об'єкта, що контролюється, може бути представлений функціоналом Q від векторного випадкового процесу (1).

На практиці найбільш поширений випадок, коли цей функціонал описується як середнє за часом на деякому інтервалі $[t_1, t_2]$ відомою (визначеною аналітичною функцією або таблицею) скалярної функції φ від параметра (2,6)

$$\bar{Q} = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \varphi(x(t)) dt, \quad T = t_2 - t_1. \quad (2)$$

У цьому випадку підінтегральну функцію природно трактувати як поточний показник

$$Q(t) = \varphi(x(t)), \quad (3)$$

а функціонал (2) – як його середнє на інтервалі усереднення $[t_1, t_2]$ значення.

Вимір (знаходження чисельного значення такої величини за допомогою спеціальних технічних вимірів) потребує певним чином організованої дослідної процедури, що включає як вимірювальні, так і розрахункові операції. Контрольно-вимірювальна система включає вимірювальну та розрахункову підсистему.

Поточний показник $Q(t)$ пов'язує функціонально залежністю матеріальні та енергетичні потоки об'єкта з його режимними параметрами та зазвичай розраховується на підставі результатів дискретного вимірювання складових компонентів $x_i(t), i = 1, 2, \dots, m$ вектора $x(t)$. Стандартна формула $\varphi(x)$ частіше нелінійна, так що інтеграл (2) не можна представити лінійною комбінацією інтегралів від компонентів, які збігаються. Для його визначення (або вимірювання узагальнюючого показника якості ґрунту) потрібна самостійна розробка.

Відома функція $\varphi(\underline{x})$ вектора режимних параметрів технологічного об'єкта (зокрема, якості ґрунту), що визначає деяку особливість його функціонування. Вектор $x = x(\underline{\cdot})$ – векторний випадковий стаціонарний ергодичний процес із незалежними нормально розподіленими компонентами.

При його вимірюванні вноситься похибка, що розглядається як високощільний векторний випадковий процес $\Delta x(\underline{\cdot})$ (із нульовим середнім та відомою дисперсією D_{Δ}), що накладається на $x(\underline{\cdot})$.

$$x^*(\underline{\cdot}) = x(\underline{\cdot}) + \Delta x(\underline{\cdot}).$$

Потрібно:

– за значенням $x^*(\underline{\cdot})$ в дискретні моменти часу $t = i\Delta t$ (за даними вимірів $x(\underline{\cdot})$) запропонувати простий алгоритм вимірювання функціонала (2);

– оцінити розрахункову похибку;
– поставити задачу оптимальної дискретизації режимних параметрів.

В процесі рішення приймаємо:

– час усереднення показника $T = t_2 - t_1$ набагато більший за час кореляції τ кожної із компонент;

– в інтервалі усереднення відхилення компонент від їхніх середніх значень незначні й мають характер випадкових похибок.

Результати досліджень. У загальному випадку для виконання розрахункового алгоритму потрібна така послідовність дій:

а) усереднення ординат процесу, що виміряні, $x(\underline{\cdot})$ та їх квадратів за час спостереження $T = n \cdot \Delta t$,

$$\begin{aligned}\tilde{x}^* &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x^* \Delta t, \\ \tilde{x}^{*2} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x^{*2} \Delta t.\end{aligned}\tag{4}$$

Перший результат дає оцінку \tilde{x} , другий, за від'ємністю \tilde{x}^{*2} , – оцінку D

$$\tilde{x} = \tilde{x}^*, \quad \tilde{D} = \tilde{x}^{*2} - \tilde{x}^{*2};$$

б) підрахунок функціонала \tilde{Q} :

$$\tilde{Q} = \begin{cases} \varphi(\tilde{D}), \text{ якщо } \varphi_{\Delta}(\tilde{D}) \leq 0,005\varphi(\tilde{D}) \\ \varphi(\tilde{D}) + \varphi_{\Delta}(\tilde{D}), \text{ якщо } \varphi_{\Delta}(\tilde{D}) > 0,005\varphi(\tilde{D}) \end{cases}\tag{5}$$

де
$$\varphi_{\Delta}(\tilde{D}) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^m \frac{\partial^2 \varphi(\tilde{D})}{\partial x_n^2} \tilde{D}_n;$$

в) визначення середнього квадрата розрахункової похибки

$$\Delta^2 = \Delta_{\varphi}^2 + \Delta_t^2,\tag{6}$$

де

$$\Delta_{\varphi}^2 = \begin{cases} \varphi_{\Delta}(\tilde{D}), \text{ якщо } \varphi_{\Delta}(\tilde{D}) \leq 0,005 \cdot \varphi(\tilde{D}) \\ \frac{1}{8} \sum_{j,k=1}^m \frac{\partial^4 \varphi(\tilde{D})}{\partial x_j^2 \partial x_k^2} \tilde{D}_j \tilde{D}_k, \text{ якщо } \varphi_{\Delta}(\tilde{D}) > 0,005\varphi(\tilde{D}) \end{cases}\tag{7}$$

$$\Delta_t^2 = \sum_{k=1}^n \left[\frac{\partial \varphi(\tilde{D})}{2 \partial x_k T} \right]^2 \tilde{D}_k.\tag{8}$$

Остання складова Δ_t^2 може слугувати також оцінкою середнього квадрата похибки дискретного усереднення за вищезазначеним методом.

Оптимальна дискретизація. Чим менший крок дискретизації (чим більше точок розрахунку), тим менша похибка усереднення. Загалом кожна розрахункова точка потребує визначених витрат на засоби вимірювання та розрахункову обробку. Якщо ресурси системи усереднення обмежені, то на сумарне число вимірювання N накладають деяке обмеження

$$N \leq N_0.\tag{9}$$

Виникає задача оптимальної дискретизації: обрати тривалість $\Delta t_k, k = 1, \dots, m$ кроку опитування процесу $x(t)$ такою, щоб мінімізувати похибку усереднення при виконанні умови (9) [2].

Математичне формулювання задачі таке: мінімізувати цільову функцію

$$f(\Delta t) = \sum_{k=1}^m C_k^2 \Delta t_k$$

за умови

$$\sum_{k=1}^m \frac{1}{\Delta t_k} \leq \frac{N_0}{T}, \quad 0 < \Delta t_k \leq \tau_{ck}; \quad k = 1, \dots, m,$$

$$\text{де } C_k = \left| \frac{\partial \varphi(x)}{\partial x_k} \right| \left(\tilde{D}_k \frac{2\tau_k}{T} + D_\Delta \right)^{\frac{1}{2}}, \quad k = 1, \dots, m \quad \tau_{ck} = 2\tau_k \frac{T}{T + 2\tau_k}$$

Сформульована задача є одним із різновидів моделі нелінійного програмування.

Висновки. На підставі розглянутих основних особливостей здійснення контролю якості ґрунту в задачах екологічної (економічної) оцінки запропоновано комплексний та системний підхід до розробки необхідних вірогіднісних алгоритмів і методів. При цьому можливе використання узагальнюючих показників якості з урахуванням особливостей конкретних об'єктів. Розглянуті також можливості оптимальної дискретизації. Отримані розрахункові дані доцільно доповнювати оцінкою методичної та інструментальної похибок на конкретних прикладах після апріорного отримання даних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ ISO 9004 – 2001. Системи управління якістю. Настанови щодо поліпшення діяльності. – К.: Держстандарт України, 2001. – С. 70.
2. Зенон Гамкало. Екологічна якість ґрунтів : навч. посібник / Гамкало Зенон. – Львів: Львів. нац. ун-т ім. І. Франка, 2009. – 410с.
3. Тихоненко Д.Г. Ґрунтознавство : підручник / Д.Г. Тихоненко. – К.: Вища освіта, 2005. – 703 с.
4. Lyubimova N.A. Integral expression of the adjacent transfer criterion in environmental control problems [Text] / N.A. Lyubimova // Prescopus Russia. – 2013. – Issue1 of 1, September. – P. 5 – 9.
5. Любимова Н.А. Вероятностный метод измерения обобщенного показателя качества природных и технологических объектов /

Н.А. Любимова // Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов: материалы 12-й Межд. науч-техн. конф. – Т.1. – Бердянск, 2004. – С. 289 – 291.

6. Любимова Н.А. Особливості контролю ґрунту в задачах економічної і екологічної оцінки його якості / Н.А.Любимова // Вісник ХНАУ ім. В.В.Докучаєва. 2016. – №1(16). – С. 164-172.

*Стаття надійшла до редакції
22.12.2016*

N. A. Lyubymova, doctor of science, assistant professor
Kharkov National Agrarian University named after V.V. Dokuchaev,
Kharkov, Ukraine

A PROBABILISTIC METHOD OF MEASURING THE GENERALIZED INDICATOR OF THE QUALITY OF THE SOIL DURING ITS ECONOMICAL AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT

The proposed probabilistic method of measuring the summarizing indicator of the quality of the soil in the objectives of its economic and environmental control.

The subject of research is a comprehensive procedure quality control of the soil for agricultural purposes. The subject of study is soil, as a monitoring object operations.

The purpose was to enhance the qualitative characteristics of control: the reliability, minimization of error, ease of handling.

Offers a systematic approach to consideration of the indicators of its quality (physical, chemical, and biological nature). The aim is to develop a mathematical model of the generalized quality index taking into account basic, most vajnih when agricultural work performance.

This possibility of transition from control of many diverse by their nature, indicators of quality soil to the minimum quantity minimizes economic costs kontrolnih operations.

The main attention in research is paid to maintaining a high level of quality control characteristics (accuracy, reduce errors and control risk reduction control of the first and second kind, simple processed and carrying out engineering calculations).

The calculation step of the survey of quality indicators during the control (optimal discretization of individual indicators) in the General case, allows to solve the contradiction between the economic costs of holding kontrolnih operations and their treatment and maximum desired regulated level of confidence specified by the customer.

The proposed hike of integrated economic and environmental assessment of the quality of the soil is very actual nowadays.

This control allows multifaceted to assess the quality of the soil, to develop a strategy of crop rotation, maximum yield, choose the optimal technology of cultivation when conducting zemledelchesky works, if necessary, to clear the soil of unwanted toxicants (excessive pesticides, fertilizers), select the necessary technology mechanized processing of the soil, to improve its qualitative indicators, to preserve soil fertility for agricultural purposes for generations to come.

The method can be used to organize the monitoring of the earth in conditions of anthropogenous pollution, in the solution of problems of economic and environmental assessment of its quality.

Key words: monitoring, ecology, mentoring, soil, cuesta, measuring, generalising indicator, the calculation of the optimal step of the survey.

Н.А. Любимова, д-р. техн. наук

Харьковский национальный аграрный университет им. В.В. Докучаева
Харьков, Украина

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ОБОБЩАЮЩЕГО ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА ГРУНТА ВО ВРЕМЯ ЕГО ЭКОНОМИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ

Предложено использование вероятностного метода измерения обобщающего показателя качества грунта в задачах его экономического и экологического контроля.

Предметом исследования является процедура комплексного контроля качества грунта сельскохозяйственного назначения. Предложен системный подход к учету показателей его качества (физической, химической и биологической природы). Целью работы является разработка математической модели обобщающего показателя качества с учетом основных показателей, наиболее важных при проведении сельскохозяйственных работ.

Такая возможность перехода от контроля множества разноплановых по своей природе показателей качества грунта к минимальному их количеству минимизирует также экономические затраты на проведение контрольных операций. При этом основное внимание в исследовании уделяется поддержанию на высоком уровне качественных характеристик контроля: достоверности, минимизации ошибок контроля, уменьшения рисков контроля первого и второго рода, простоты обработки и проведения инженерных расчетов.

Расчет шага опроса качественных показателей во время проведения контроля (оптимальная дискретизация отдельных показателей) в общем случае позволяет решить противоречие между экономическими затратами на проведение контрольных операций и их обработку и максимально необходимым регламентированным уровнем достоверности, заданным заказчиком.

Предлагаемый подход комплексной экономической и экологической оценке качества грунта весьма актуален в настоящее время. Такой контроль позволяет многопланово оценить качество, разработать план стратегии севооборота, получить максимально возможный урожай, выбрать оптимальную технологию выращивания при проведении земледельческих работ, при необходимости очистить грунт от нежелательных токсикантов (избыточных пестицидов, удобрений), выбрать необходимую технологию механизированной обработки грунта, повысить его качественные показатели, сохранить плодородие почвы сельскохозяйственного назначения для будущих поколений. Метод может быть использован при организации мониторинга земли в условиях её антропогенного загрязнения, при решении задач экономической и экологической оценки её качества.

Ключевые слова: контроль, экология, мониторинг, грунт, качество, измерение, обобщающий показатель, расчет, оптимальный шаг опроса.