

Езиев М.И., Шекихачева Л.З., Шибзухова З.С.

Экологический мониторинг качества почвы

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
=====

УДК 631.4:504.75

Экологический мониторинг качества почвы

Езиев М.И., Шекихачева Л.З., Шибзухова З.С.

Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова

Аннотация

Предложен комплексный и системный подход к разработке необходимых вероятностных алгоритмов и методов для решения задач экологического контроля качества почвы. При этом возможно использование обобщающих показателей качества с учетом особенностей конкретных объектов. Рассмотрены также возможности оптимальной дискретизации и основные подходы к минимизации погрешностей и повышению достоверности при выполнении задач экологического мониторинга.

Ключевые слова: КОНТРОЛЬ, ЭКОЛОГИЯ, МОНИТОРИНГ, ПОЧВА, КАЧЕСТВО, ИЗМЕРЕНИЕ, ОБОБЩАЮЩИЙ ПОКАЗАТЕЛЬ, РАСЧЕТ

Введение

Во всех областях деятельности человека на современном этапе развития человечества первоочередной стоит проблема изучения и анализа состояния окружающей среды. Для принятия решения по улучшению качества сельскохозяйственных угодий, эффективному использованию, повышению плодородия почвы и урожаев необходима адекватная информация о состоянии экологической системы – литосферы, в частности почвы, по тому или иному показателю. Своевременная информация об основных количественных и качественных показателях почвы поможет рационально применять агротехнологии, предупредить истощение плодородного слоя, получить высокие показатели урожаев, предотвратить негативное антропогенное влияние человека на почву [1, 2].

Своевременная регистрация концентрации загрязняющих веществ, причиняющих вред производственной деятельности, и принятие экстренных мер по борьбе с деградаци-

Езиев М.И., Шекихачева Л.З., Шибзухова З.С.

Экологический мониторинг качества почвы

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
=====

ей почвы позволят осуществить объективный прогноз уровня нагрузки и разработать перспективные природоохранные рекомендации по улучшению состояния окружающей среды. От этого зависит обеспечение населения Земли продовольствием, энергетическими и сырьевыми ресурсами.

Получение максимальных показателей при выполнении сельскохозяйственных технологий с целью повышения урожайности культур невозможно выполнить без применения удобрений, пестицидов и других химических реагентов, специальных видов механической обработки почвы, что дополнительно загрязняет и разрушает почву. В то же время следует соблюдать стандарты в области сохранения и восстановления плодородия почвы. Для решения этой проблемы необходимо качественно выполнять экологический мониторинг и контроль почвы, а управление технологическими процессами в агрономии на базе полученных данных контроля качества почвы становится приоритетным для выживания человечества [3-6].

Вместе с тем решение проблемы качества почвы на основе качественного и максимально достоверного контроля позволит получать максимальные урожаи, повысить стратегическую устойчивость, сохранить природные богатства для потомков. Поэтому проблема экономической и экологической оценки качества почвы на базе современных методов контроля актуальна и коррелирует с получением высоких урожаев в земледелии, процветанием народа, решает важнейшие стратегические задачи страны в области обеспечения продовольствием сегодня и в будущем.

На сегодняшний день существует много научных работ в области агрономии, почвоведения, экологии, технического контроля, которые на высоком профессиональном уровне решают проблемы своего профиля [7-10].

Но при решении своих проблем и задач специалисты не всегда обращают внимание на системный, многоаспектный подход при выполнении экологического мониторинга качества почвы, недостаточно углубляются в анализ и контроль структуры, в выявление максимального числа факторов взаимодействия и связей составляющих почвы для обобщения ее качества, снижения погрешностей мониторинга.

Необходимо соблюдать нормы при обработке почвы, а именно, внесения удобрений, пестицидов, предусматривать потери органического вещества и биоразнообразия вследствие усиленной минерализации, контролировать выбор типа севооборотов, вида

механической обработки и др. Этой проблеме посвящено много трудов и научных решений [2, 11-13]. Но в области выполнения контрольных операций, улучшения методов контроля, системного подхода при решении задач контроля еще много пробелов.

Состояние современных объектов контроля (промышленных, экологических, агрономических и др.) характеризуется совокупностью некоторых контролируемых параметров, которые могут быть отнесены к группе режимных. Математически эту совокупность, например, содержание гумуса, электропроводность, окислительно-восстановительный потенциал и т.п., можно представить как векторный случайный процесс

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

с непрерывными компонентами. В частности, иногда режимные параметры могут быть случайными скалярными процессами $x(t)$.

Качество функционирования объекта может быть определено одним или несколькими обобщающими показателями. В основном их называют технико-экономическими показателями.

В наиболее общем виде обобщающий показатель контролируемого объекта может быть представлен функционалом Q от векторного случайного процесса (1).

На практике наиболее распространен случай, когда этот функционал описывается как среднее по времени на некотором интервале $[t_1, t_2]$ известной (определенной аналитической функцией или таблицей) скалярной функции φ от параметра

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

В этом случае подынтегральную функцию естественно трактовать как текущий показатель

$$Q(t) = \varphi[x(t)] \quad (3)$$

а функционал (2) – как его среднее на интервале $[t_1, t_2]$.

Измерение (нахождение численного значения такой величины с помощью специальных технических измерений) требует определенным образом организованной опытной процедуры, включающей как измерительные, так и расчетные операции.

Контрольно-измерительная система включает измерительную и расчетную подсистемы.

Текущий показатель $Q(t)$ связывает функциональной зависимостью материальные и энергетические потоки объекта с его режимными параметрами и обычно рассчитывается на основании результатов дискретного измерения составляющих компонентов $x(t) = 1, 2, \dots, m$ вектора $x(t)$. Стандартная формула $\varphi(x)$ чаще нелинейна, так что интеграл (2) нельзя представить линейной комбинацией интегралов от совпадающих компонентов.

Цель работы – разработка адекватных математических моделей и методов контроля состояния качества почвы, оценки погрешности полученных результатов.

Результаты исследований

Известна функция $\varphi(x)$ вектора режимных параметров технологического объекта (в частности, качества почвы), что определяет некоторую особенность его функционирования. Вектор $x = x(t)$ – векторный случайный стационарный эргодический процесс с независимыми нормально распределенными компонентами. При его измерении вводится погрешность, рассматриваемая как высокоплотный векторный случайный процесс $\Delta x(t)$ (с известной дисперсией D_{Δ}), накладываемый на $x(t)$.

$$x^*(t) = x(t) + \Delta x(t).$$

Требуется:

- по значению $x^*(t)$ в дискретные моменты времени $t = i\Delta t$ (по данным измерений $x(t)$) предложить алгоритм измерения функционала (2);
- оценить расчетную погрешность;
- сформулировать задачу оптимальной дискретизации режимных параметров.

В процессе решения принимаем:

- время усреднения показателя $T = t_2 - t_1$ гораздо больше времени корреляции каждой из компонент;
- в интервале усреднения отклонения компонентов от их средних значений незначительны, носят характер случайных погрешностей.

В общем случае для выполнения расчетного алгоритма требуется следующая последовательность действий:

а) усреднение измеренных ординат процесса $x(t)$ и их квадратов за время наблюдения $T = n\Delta t$,

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

б) подсчет функционала \tilde{Q} :

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

$$\text{где } \varphi_{\Delta}(\tilde{x}, \tilde{D}) = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^m \frac{\partial^2 \varphi(\tilde{x})}{\partial x_n^2} \tilde{D}_n;$$

в) определение среднего квадрата расчетной погрешности

$$\Delta^2 = \Delta_{\varphi}^2 + \Delta_t^2, \quad (6)$$

где

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

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

Последняя составляющая Δ_t^2 может также служить оценкой среднего квадрата погрешности дискретного усреднения по вышеуказанному методу.

Оптимальная дискретизация.

Чем меньше шаг дискретизации (чем больше точек расчета), тем меньше погрешность усреднения. В общем, каждая расчетная точка требует определенных затрат на средства измерения и обработку результатов. Если ресурсы системы усреднения ограни-

ченны, то суммарное число измерений N накладывают некоторое ограничение

$$N \leq N_0. \quad (9)$$

Возникает задача оптимальной дискретизации: выбрать продолжительность $\Delta t_k, k=1, \dots, m$ шага опроса процесса $x(t)$ такой, чтобы минимизировать погрешность усреднения при выполнении условия (9).

Математическая формулировка задачи такова:

минимизировать целевую функцию

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

при условии

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

где

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

Сформулированная задача является одной из разновидностей модели нелинейного программирования.

Выводы

На основании рассмотренных основных особенностей осуществления контроля качества почвы в задачах экологической оценки предложен комплексный и системный подход к разработке необходимых вероятностных алгоритмов и методов. При этом возможно использование обобщающих показателей качества с учетом особенностей конкретных объектов. Рассмотрены также возможности оптимальной дискретизации.

Список использованных источников:

1. Шекихачев Ю.А. Агрофизические факторы плодородия почвы и их регулирование // В сборнике: Актуальные проблемы аграрной науки: прикладные и исследовательские аспекты. Материалы IV Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. - Нальчик, 2024. - С. 123-126.
2. Апажев А.К., Шогенов Ю.Х., Шекихачев Ю.А. Минимализация обработки поч-

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
=====

вы: проблемы и решения // В сборнике: Энергоресурсосбережение и энергоэффективность: актуальные вопросы, достижения и инновации. Сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции. - Нальчик, 2023. - С. 28-31.

3. Варламов А.А. Земельный кадастр. Т. 2. Управление земельными ресурсами. - М.: КолосС, 2004. - 528 с.

4. Гогмачадзе Г.Д. Агроэкологический мониторинг почв и земельных ресурсов Российской Федерации. М.: Изд-во МГУ, 2010. - 592 с.

5. Шекихачева Л.З. Методические подходы к оценке экологического состояния почвы // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. - 2022. - 1(35). - С. 23–34.

6. Соловьев В.М. Агроэкологический мониторинг земель // Агрехимический вестник. - 2004. - № 3. - С. 6–7.

7. Васильев С.М., Бабичев А.Н. Основные принципы формирования устойчивости мелиорированных агроландшафтов // Экология и водное хозяйство. - 2021. Т. 3. - № 1. - С. 1-10.

8. Шекихачева Л.З. Научно обоснованные принципы почвозащитной системы земледелия // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. - 2021. - № 4 (34). - С. 86-90.

9. Vasiliev S.M., Senchukov G.A., Gostishchev V.D., Ponomarenko T.S. Environmental safety in the irrigation and watering systems design stage // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Scientific Conference «Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development» – Organisation and Technology of Construction Production. 2019. - С. 055047.

10. Duan X., Bai Z., Rong L., Ding J., Tao Y., Wing W. Investigation method for regional soil erosion based on the Chinese Soil Loss Equation and high-resolution spatial data: Case study on the mountainous Yunnan Province, China. Catena. - 2020. - № 184. - P. 3-16.

11. Апажев А.К., Бакуев Ж.Х., Шекихачев Ю.А., Хажметов Л.М. Технологическое и техническое обеспечение противоэрозионного обустройства территории в предгорных и горных садовых агроландшафтах // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2024. - № 1 (43). - С. 78-87.

12. Апажев А.К., Шекихачев Ю.А., Хажметов Л.М., Пазова М.Т., Фиапшев А.Г., Хажметова А.Л. Агротехнические мероприятия по вовлечению в сельскохозяйственный оборот галечниковых земель под сады // Вестник НГИЭИ. - 2023. - № 7 (146). - С. 7-18.

13. Шекихачев Ю.А., Шекихачев А.А., Мишхожев К.В. Оценка эффективности экологизации аграрного производства // В сборнике: Сельскохозяйственное землепользование и продовольственная безопасность. Материалы VIII Международной научно-практической конференции, посвященной памяти Заслуженного деятеля науки РФ, КБР, Республики Адыгея профессора Б.Х. Фиапшеву. - Нальчик, 2022. - С. 367-371.
=====

Езиев М.И., Шекихачева Л.З., Шибзухова З.С.

Экологический мониторинг качества почвы

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
=====

Цитирование:

Езиев М.И., Шекихачева Л.З., Шибзухова З.С. Экологический мониторинг качества почвы [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2025. – № 2. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2025/2/st_207.pdf DOI: <https://doi.org/10.51419/202152207>.