

15. *Vassiliadis, P.* Modeling Multidimensional Databases, Cubes and Cube Operations [Текст] / P. Vassiliadis // Proc. of the 10th Int. Conf. on Scientific and Statistical Database Management. – 1998. – pp. 53-62.
16. *O'Brien, J.* Management Information Systems [Текст] / J. O'Brien, G. Marakas. - McGraw-Hill/Irwin, 2010. – 712 p.
17. *OLAP AND OLAP Server Definitions* [Електронний ресурс] / – Режим доступа: www. URL: <http://olapcouncil.org/research/resrchly.htm> -14.01.2014 г.
18. *Giovinazzo, W. A.* Object-oriented data warehouse design: building a star schema [Текст] / W. A. Giovinazzo. – Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, 2000. – 368 p.
19. *Соловьев, С. В.* Технология разработки прикладного программного обеспечения [Текст] / С. В. Соловьев, Р. И. Цой, Л. С. Гринкруг. – М.: Академия естествознания, 2011. – 407 с.
20. *Скарга-Бандурова И.С.* Методы многомерного моделирования в задачах экологического мониторинга и инвентаризации отходов [Текст] / И. С. Скарга-Бандурова // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2013. – № 5(64). – С. 96-99.

УДК 001.573.681

МОДЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕВОЛЮЦІЙНИХ ЗМІН ПІДСИСТЕМИ «ГРУНТ» В РЕГІОНАЛЬНИХ ЕКОСИСТЕМАХ

Котовенко О.А., Мірошніченко О.Ю., Березницька Ю.О.

МОДЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПОДСИСТЕМЫ «ПОЧВА» В РЕГИОНАЛЬНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

Котовенко Е.А., Мирошніченко Е.Ю., Березницькая Ю.О.

REGIONAL ECOSYSTEMS SUBSYSTEM “SOIL” EVOLUTIONAL CHANGES MODEL RESEARCH

Kotovenko O., Miroshnychenko O., Bereznytskaya J.

Кафедра охорони праці і навколишнього середовища КНУБА, Київ, Україна,
kafopnsknuba@ukr.net

Для дослідження процесів міграції та накопичення речовин у ґрунтах визначеного типу запропонована модель, яка базується на методі імовірно-автоматного моделювання. Це один з найперспективніших методів при встановленні змін станів підсистеми «ґрунт» та знаходження необхідних її характеристик та показників. Для конкретного регіону проводився аналіз екологічної ємності ґрунтів та коефіцієнту їх вразливості.

Ключові слова: автоматно-імовірносне моделювання, ґрунти, регіональна екосистема, індекс вразливості, потужність техногенного впливу

Для исследования процессов миграции и накопления веществ в почвах определенного типа предложена модель, которая базируется на методе вероятностно-автоматного моделирования. Это один из наиболее перспективных методов при установлении изменений состояний подсистемы «почва» и нахождения необходимых ее характеристик и показателей. Для конкретного региона проводился анализ экологической емкости почв и коэффициента их уязвимости.

Ключевые слова: *автоматно-вероятностное моделирование, почвы, региональная экосистема, индекс уязвимости, мощность техногенного воздействия*

For research migration and accumulation substances processes in certain type soil a model, based on automaton-probabilistic modeling, was proposed. This is one of the most promising methods in establishing state changes subsystem "soil" and finding it necessary characteristics and indicators. For a specific region, an analysis of ecological capacity of soils and their vulnerability index was conducted.

Keywords: *automaton probabilistic modeling, soil, regional ecosystem, the vulnerability index, power technogenic impact*

Дослідження природно-технічних геосистем є базовим підходом при вивченні та прогнозуванні процесів, які формуються і розвиваються під дією техногенних навантажень, обумовлених певним типом природокористування в конкретному регіоні. Характер цих змін обумовлений регіональними особливостями природно-технічних геосистем, в якості підсистем яких розглядаються атмосфера, гідросфера, літосфера (грунт).

На відміну від гідросфери і атмосфери, де протікають процеси самоочищення, грунт має таку властивість в незначній мірі. Більш того, для деяких речовин, наприклад, для важких металів, грунт є ємним акцептором. Тому особливу роль має моделювання процесів еволюційних змін в підсистемі «грунт» під дією техногенного навантаження у дослідженні динаміки розвитку регіональних природно-технічних геосистем.

Основними задачами модельного дослідження розглядуваної системи є вивчення стохастичних закономірностей потоків речовин, які в деякі дискретні моменти часу надходять у грунт досліджуваного типу.

При кожному конкретному надходженні речовини у грунт вважаємо, що з деякою ймовірністю p_i ($i = \overline{1, n}$) речовина i -того виду входить до складу речовин, які надійшли у грунт. Факт надходження задаємо подвійною випадковою величиною ζ_j , яку характеризує розподіл $p_i^k = p\{\zeta_j = k\}, (k = 0, 1)$ і визначається $p_i = 1 - p_j; p_i' = p_i$.

Під дією техногенезу у ґрунти регіону в деякий момент часу потрапляють певні кількості визначеної речовини. Число надходжень може розглядатись як випадкова величина.

В той же час, окрім речовин, що надходять у грунт, в ньому з деякою ймовірністю присутні базові речовини. Речовини, що надходять у грунт, мають визначений граничний термін перебування у ґрунті. Далі, при потраплянні до ґрунту, вони можуть сорбуватися ґрунтами (механічна сорбція або хемосорбція), десорбуватися, мігрувати та розпадатися. В загальному випадку міграція речовини, що перебуває у ґрунті на певному етапі, може бути задана значеннями «міграційних ймовірностей». При цьому необхідно враховувати, що речовини можуть відноситися

до різних класів стійкості, що характеризується ймовірностями розпаду (напіврозпаду) даної речовини на деяку сукупність інших речовин. Також необхідно враховувати період перебування цих речовин у визначеному ґрунті. Необхідно врахувати і передбачити період напіврозпаду досліджуваної речовини, і те, що речовини, які є результатом розпаду деяких сполук, що потрапили у ґрунт, поповнюють забруднення ґрунтів як самостійні забруднювачі. Стан ґрунтової підсистеми може бути охарактеризований значеннями таких показників як:

X_1 – вміст фосфору і калію в ґрунтах;

X_2 – якість і гумусність ґрунтів;

X_3 – рівень і мінералізація ґрунтових вод;

X_4 – валовий сумарний вміст важких металів;

X_5 – сумарний вміст радіонуклідів в ґрунті;

X_6 – біотичний потенціал або біопродуктивність земельних угідь;

X_7 – стійкість ґрунтів до техногенного навантаження;

X_8 – несприятливі природно-антропогенні процеси;

X_9 – забрудненість сільськогосподарських угідь пестицидами;

X_{10} – внесення мінеральних добрив.

Показник X_6 визначається гідротермічним потенціалом продуктивності фітомаси

$$K_p = \frac{W \cdot T_B}{3.6 \cdot R},$$

де W – середньорічне продуктивне зволоження, мм; T_B – період вегетації, декади; R – середньорічний радіаційний баланс, ккал/см².

Основою автоматної моделі є побудова групи автоматів

$$A_{im} \left(i = \overline{1, N_2}; m = \overline{1, T_i} \right),$$

$a_{im}(t)$ – стан відповідних автоматів в момент t задає кількість накопиченої речовини i -го виду, що знаходиться у момент t на m -му етапі перебування.

Стан автомату $A_{i1} : a_{i1}(t)$ – це кількість речовини i -го ($i = \overline{1, N_2}$) виду, що знаходиться в момент часу t на першому етапі перебування у ґрунті, і обчислюється як

$$\max \left\{ 0, x_i(t) - \max \left\{ 0, y_i(t) - \sum_{k=0}^{T_i} a_{ik}(t) \right\} \right\},$$

де $x_i(t)$ – вхідний сигнал, який відповідає кількості речовини i -го ($i = \overline{1, N_2}$) виду, що надійшла у ґрунт в момент t . В загальному випадку сигнал $y_i(t)$ є сумою двох сигналів:

$$y_i(t) = M_i(t) + Z_i(t),$$

де $M_i(t)$ – загальна кількість речовини i -го ($i = \overline{1, N_2}$) виду, відносно якої у період t відбувається структурне розщеплення на складові елементи.

Взагалі $Z_i(t) = \sum_{k=1}^{T_i} Z_{ik}(t), i = \overline{1, N}$; для $\forall i = N + 1, \overline{N_1}, Z_i(t) = 0, Z_{ik}(t) = 0,$

де $Z_{ik}(t)$ – кількість речовини i -го виду, що знаходиться на k -му етапі перебування у ґрунті і в момент t розщеплюється на m_i речовин таким чином, що

$$Z_{ik}(t) = \sum_{j=N_i}^{N_0+m_i} \bar{Z}_{j1}(t), \quad \bar{N}_i = N + m_1 + \dots + m_{i-1},$$

де $Z_{j1}(j = \bar{N}_i + 1, \bar{N}_i + m_i)$ – кількість речовини j -го ($j = \bar{N} + 1, N_1$) виду, що отримана в результаті розпаду речовини i -го ($i = \bar{1}, \bar{N}$) виду і знаходиться в період t на першому етапі перебування у ґрунті; $m_i(i = \bar{1}, \bar{N})$ – кількість речовин, на які може розпадатись речовина i -го виду; T_i – максимально можливий період знаходження i -ї речовини в ґрунті:

$$y_i(t) = \sum_{k=1}^{T_i} y_{ik}(t),$$

в свою чергу:

$$y_{ik}(t) = m_{ik}(t) + Z_{ik}(t),$$

де $y_{ik}(t)$ – кількість речовини i -го виду, що знаходиться на k -му етапі перебування у ґрунті, на який має зменшитися значення $a_{ik}(t)$ в момент t ; $m_{ik}(t)$ – кількість речовини i -го виду, що знаходиться на k -му ($k = 1, T_i$) етапі перебування у ґрунті, яка мігрує в момент t у воду; $Z_{ik}(t)$ – загальна кількість речовини i -го виду, що знаходиться на k -му етапі перебування у ґрунті, відносно якої в період t відбувається розпад на складові елементи.

Для $i = \bar{N} + 1, \bar{N}_2$, згідно з початковими припущеннями, має сенс вважати, що $Z_{ik}(t) = 0$ для $k = 1, T_i$.

Таблиця умовних функціоналів переходів, що відповідає імовірнісно-автоматній моделі, за допомогою якої враховується накопичення речовин у ґрунті, може бути представлена у вигляді табл. 1

Таблиця 1

$A_{i1}(i = \bar{1}, \bar{N})$	$\max\left\{0, x_i(t) - \max\left\{0, y_i(t) - \sum_{k=0}^{T_i} a_{ik}(t)\right\}\right\}$
$A_{i1}(i = \bar{N} + 1, \bar{N}_2)$	$\max\{0, x_i(t) + \bar{Z}_{i1}(t) - m_{i1}(t)\}$
$A_{ik}(i = \bar{1}, \bar{N}_2)(k = 2, T_i - 1)$	$\max\{0, a_{i,k-1}(t) - y_{ik}(t)\}$
$A_{iT_i}(k = T_i)(i = 1, \bar{N}_2)$	$\max\{0, a_{i,T_i}(t) + a_{i,T_i-1}(t) - y_{i,T_i}(t)\}$

Імовірнісно-автоматна модель досліджуваної системи накопичення речовин у ґрунті задається побудовою відповідних автоматів, кількість яких дорівнює

$$2N_2 + \sum_{i=1}^{N_2} (T_i - 2). \quad N_2 = N_1 + N_p,$$

де N_2 – загальна кількість досліджуваних речовин, N_1 – кількість техногенних забруднювачів у ґрунті, N_p – кількість поживних речовин, що впливають агропотенціал ґрунтів регіону, який розраховується на основі значень станів автоматів $X_j (j = \overline{1, N_s})$, що в свою чергу обумовлюється значеннями автоматів $A_{i,k}$.

Автоматна модель доповнюється побудовою автоматів, що дозволяють в залежності від значень агропотенціалу фіксувати стан $S(t)$ підсистеми «ґрунт» у певний момент автоматного часу $J = S(t)$.

Для наступного моменту часу будемо вважати $I = S(t-1) = J$. Внутрішній стан автомату агропотенціалу у момент t – це $a_p(t)$. Якщо у момент t виконується умова: $a_p(i) < a_p(t) < a_p(i+1)$ ($i=0,1,2,3,4$), то $S(t) = i+1$. Значення $a_p(i)$ ($i=0,1,2,3,4$) визначають приналежність агропотенціалу одному з п'яти можливих класів.

В даний момент автоматного часу t розраховуємо

$$\lambda(i, j) = \lambda(i, j) + 1.$$

Крім того необхідно фіксувати можливі переходи із стану i в інший. Для цього в кожний момент автоматного часу t фіксується деяке значення

$$PER(i) = PER(i) + 1.$$

Для конкретного стану i для інтенсивностей переходу в інші стани справедливою є формула

$$\sum_{j=1}^{N_s} \lambda_{ij} = 1,$$

де N_s – кількість можливих станів підсистеми. Тоді правомірним є розрахунок

$$\lambda(i, j) = \frac{\lambda(i, j)}{PER(i)}.$$

Відмітимо, що важливою характеристикою підсистеми «ґрунт» є значення такого показника, як індекс вразливості

$$I_{ep} = \frac{\Delta S}{\Delta F},$$

$$\Delta S = \frac{S_t - S_0}{S_t},$$

де S_0, S_t – індекси порушеності компонента екосистеми на попередньому (фоновому) та поточному етапах функціонування екосистеми; ΔF – потужність техногенного впливу розраховується як сумарне значення техногенних забруднювачів у ґрунті (визначається на основі значень автоматів A_{ik}).

S_t – індекс порушеності компонента у момент t визначається на основі розрахунку значень X_7 (стійкість ґрунтів до техногенного навантаження) та X_8 (ступінь впливу несприятливих природно-антропогенних процесів).

Побудова допоміжних автоматів представлена в табл. 2

Таблиця 2

SS	$a_p(i) < a_p(t) < a_p(i+1) \quad (i = 0,1,2,3,4)$
	$S(t) = i + 1; S_1(t) = i + 1; J = S(t)$
PER(I)	$PER(i) = PER(i) + 1$
$\Lambda(I, J)$	$\lambda(i, j) = \lambda(i, j) + 1; \quad \lambda(i, j) = \frac{\lambda(i, j)}{PER(i)}$
I	$I = S_1(T) = J$

Запропонована модель надає можливість перевірити допустимість введення певних промислових об'єктів та технологічних нововведень у регіоні, а також прогнозувати еволюційні екологічні процеси у регіоні. Крім того, за допомогою даної моделі можуть вирішуватись такі підзадачі, як дослідження впливу внесення вапна для переведення сполук важких металів у малодоступні для рослин форми, що сприяє зниженню забруднення сільськогосподарської продукції токсичними елементами. Дослідження може проводитись для конкретних видів рослин на визначених ґрунтах. Для різних рослин можуть розраховуватись емпіричні залежності між кількістю металів в рослинах і вмістом їх рухомих сполук у ґрунті.

Література

1. Бакаев А.А. Имитационные модели в экономике / Бакаев А.А., Костина Н.И., Яровицкий Н.В. – К.: Наукова думка, 1978. – 304 с.
2. Котовенко О.А. Стохастичне моделювання при дослідженні процесів під дією природокористування в регіоні / О.А. Котовенко, О.Ю. Мірошніченко, Л.І. Соболевська // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 2/14 (56). – с. 37-41
3. Дослідження і визначення умов і механізмів екологічно-безпечного природокористування на рівні регіонів і регіональних екосистем (4-ДБ-2007) / Заграй Я.М., Котовенко О.А., Мірошніченко і ін. : КНУБА, 2008. – 60 с. (Науковий звіт).