

ЙМОВІРНОСНО-АВТОМАТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ДОСЛІДЖЕННЯХ МІГРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У ГРУНТАХ

О. А. Котовенко

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: kafopnsknuba@ukr.net

О. Ю. Мірошниченко

Старший викладач*

E-mail: elenamiroshka@ukr.net

Ю. О. Березницька

Асистент*

E-mail: juli_mmm@ukr.net

Ю. В. Шосталь

Гідролог

Відділ збереження інформації на паперових носіях

Центральна геофізична обсерваторія

пр. Науки, 35, м. Київ, Україна, 03680

E-mail: Uliasia20081@rambler.ru

*Кафедра охорони праці і навколишнього середовища

Київський національний університет

будівництва і архітектури

пр. Воздухофлотський, 31, м. Київ, Україна, 03680

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

Ключові слова: автоматно-ймовірносне моделювання, ґрунти, регіональна екосистема, потужність техногенного впливу, техногенез

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, мощность техногенного воздействия, техногенез

1. Вступ

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. Динамічні процеси, пов'язані з природокористуванням взагалі і безперервно діючими техногенними навантаженнями зокрема, що мають широкий спектр дії, постійно змінюються і впливають на компоненти екосистем, несуть в собі основу для деградаційних змін природного середовища. Характер цих змін обумовлений регіональними особливостями природно-технічних геосистем, в якості підсистем яких розглядаються атмосфера, гідросфера, літосфера (ґрунт) [1].

Особливо важливу роль у вивченні та прогнозі в екологічних системах має дослідження міграційного накопичення речовин в ґрунтових підсистемах під впливом техногенних навантажень. Оскільки, фактори впливу найчастіше мають ймовірнісний характер, застосування стохастичних підходів для вирішення таких екологічних задач є актуальним. Для

вирішення цих задач найбільш придатним є метод ймовірносно-автоматного моделювання.

2. Літературний огляд

У роботах [2–7] представлені дослідження та подані фізичні моделі розвитку процесів накопичення важких металів як у ґрунті так і їх перехід у сільськогосподарську продукцію та поставлено питання про важливість подальшого дослідження цих процесів. Особливий інтерес представляють підходи, методи дослідження і прогнозування міграційних процесів у ґрунтах поданих у роботах [8–10], які базуються на математичних аналітичних моделях фільтраційних процесів. У роботі [11] представлений метод дослідження міграційного накопичення важких металів у ґрунтах заснований на класичній аналітичній адсорбційній моделі та поставлено питання про її спрощення та заміну її імітаційною моделлю. Як в першому, так і в другому випадку міграційні процеси розглядаються як детерміновані.

У роботі [12] процес міграційного накопичення розглядається як випадковий та обґрунтовано, що цей

процес можна розглядати як процес, що має нормальний закон розподілення.

Оскільки, ґрунт є складною багатокомпонентною системою, а процеси, що проходять у ньому мають стохастичний характер, то має сенс розглядати процеси міграційного накопичення у ґрунті з точки зору стохастичного моделювання.

При моделюванні та прогнозуванні процесів міграції та накопичення техногенних забруднювачів у ґрунті, як перспективний метод дослідження розглядається побудова ймовірно-автоматної моделі. Він зарекомендував себе як ефективний інструмент при вирішенні економічних задач [13, 14] та біологічних досліджень [15]. Авторами аналогічний підхід було застосовано в дослідженнях еволюційних процесів в промислових природно-технічних геосистемах [17]. Доцільність означеного підходу до вирішення поставленої задачі обумовлюється динамічністю процесу, що розглядається, його складністю, наявністю багатьох ймовірнісних факторів впливу. За основу автоматного моделювання обрано автомат Мура [13], під яким розуміється деякий об'єкт, який в кожний момент часу має певний внутрішній стан і здатний сприймати деякий вхідний сигнал, а також видавати певний вихідний сигнал.

3. Постановка проблеми

На відміну від гідросфери і атмосфери, де протікають процеси самоочищення, ґрунт має таку властивість в незначній мірі. Більш того, для деяких речовин, наприклад, для важких металів, ґрунт є емним акцептором. Ґрунти це складна багатокомпонентна система в якій під дією техногенних навантажень проходять складні багатофакторні процеси, що характеризуються випадковими параметрами. Тому особливу роль має вирішення проблеми дослідження процесів еволюційних змін у системі «ґрунт», і як її складової, проблеми міграційного накопичення речовин у ґрунті при не детермінованих значеннях параметрів, що характеризують ці процеси.

4. Мета і задача дослідження

Метою роботи є обґрунтування стохастичного підходу до дослідження ґрунтової екосистеми з точки зору зміни її екологічної ємності під дією стохастичних потоків речовини, які в деякі дискретні моменти часу надходять у ґрунт певного типу.

Основною задачею дослідження є синтез ймовірнісно-автоматної моделі міграційного накопичення техногенних забруднювачів в ґрунтах, та прогнозування динаміки цього процесу та відповідної зміни ємності ґрунтової підсистеми під дією випадкових впливів.

5. Синтез ймовірно-автоматної моделі міграційного накопичення техногенних забруднювачів в ґрунтах

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

Характеристикою стану екосистеми у цілому так і окремого її компонента може виступати значення такого її показника як екологічна ємність, що задається формулою:

$$\varepsilon = I_{вр}P,$$

де P – екологічний потенціал регіональної промислової екосистеми (чи її елемента); $I_{вр}$ – індекс вразливості, що характеризує динаміку здатності екосистеми до самоочищення, самовідновлення при різних рівнях антропогенного (техногенного) навантаження.

$$I_{вр} = \frac{\Delta S}{\Delta F};$$

$$\Delta S = (S_t - S_0)/S_t,$$

де S_0, S_t – індекси порушеності компонента екосистеми на попередньому (фоновому) та поточному етапах функціонування екосистеми; F_0, F_t – відповідно потужність техногенного впливу.

Значення S_0, F_0 вважаються заданими, а S_t, F_t вимірюються у певний момент часу, що досліджується.

При відображенні динаміки зміни стану екологічної системи шляхом побудови ймовірно-автоматної моделі, необхідно знати в якому стані знаходилась система у початковий момент дослідження.

Якщо виходити з того, що екологічний потенціал є показником, який визначає стан підсистеми, то доцільним може виявитися виокремлення 5-ти можливих станів підсистеми, які відповідають певним його. Для характеристики ґрунтів за екологічний потенціал приймають агропотенціал. (АП)_Значенням показника АП, показано у табл. 1 [17].

Для побудови ймовірно-автоматної моделі необхідні такі статистичні дані:

- 1) початкові дані стосовно факторів, що характеризують основний показник стану підсистеми «ґрунт»;
- 2) моменти часу впливів відповідних техногенних факторів, що виникли у результаті природокористування;
- 3) кількості діючих факторів кожного дослідженого виду на визначених інтервалах часу;
- 4) потужність техногенного впливу відповідних факторів кожного досліджуваного типу;
- 5) ймовірності (кількості) випадкових знешкоджень впливу факторів певного типу з урахуванням дії цих факторів на досліджуваному інтервалі часу;
- 6) ймовірність накопичення наслідків діючих факторів техногенних впливів на певні параметри на досліджуваному інтервалі часу;
- 7) ймовірність зменшення дії цих факторів;
- 8) ймовірність дії кліматичних (природних) факторів на наслідки техногенного впливу.

Для побудови ймовірнісного автомату необхідно визначити множини значень, які може приймати внутрішній стан, вхідний і вихідний сигнали.

При кожному конкретному надходженні речовини у ґрунт вважаємо, що з деякою ймовірністю $p_i (i = \overline{1, n})$ речовина i -того виду входить до складу речовин,

які надійшли у ґрунт. Факт надходження задаємо подвійною випадковою величиною ζ_j , яку характеризує розподіл $p_i^k = p\{\zeta_j = k\}, (k=0,1)$ і визначається $p_i = 1 - p_j; p_i = p_i$.

Таблиця 1

Агроекологічна оцінка ґрунтів

Оцінка ґрунтів	Значення АП	Рівень якості (стан підсистеми "ґрунт")	Стратегія еколого-раціонального використання земель
Умовно сприятливі	>1,71	5	Зона економічно доцільного використання земель
Задовільні	+1,70 ÷ -1,70	4	
Умовно задовільні	-1,70 ÷ -5,09	3	Зона використання земель у режимі збереження
Погіршені	-5,10 ÷ -8,49	2	Зона економічно-адаптивного використання земель
Екологічного лиха	<-8,50	1	Зона використання земель у режимі відновлення

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 ґрунт, в ньому з деякою імовірністю присутні базові речовини. Речовини, що надходять у ґрунт, мають визначений граничний термін перебування у ґрунті. Далі, при потраплянні до ґрунту, вони можуть сорбуватися ґрунтами (механічна сорбція або хемосорбція), десорбуватися, мігрувати та розпадатися [7]. В загальному випадку міграція речовини, що перебуває у ґрунті на певному етапі, може бути задана значеннями «міграційних ймовірностей» [4, 5]. 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.

Тобто, задача полягає у визначенні накопичення речовин у досліджуваному ґрунті за достатньо тривалий період часу. Принциповий підхід до статистичного дослідження системи полягає в наступному. Основою для побудови ймовірностно-автоматної моделі визначення накопичення досліджуваних речовин у ґрунті певного типу є статистичні дані, що стосуються:

1) моментів часу надходження речовин у ґрунт;

2) кількості надходжень речовин досліджуваного виду на визначених, досить великих інтервалах часу.

В залежності від інтенсивності накопичення антропогенних змін та умовної інтенсивності рівноважних переходів екосистеми, вирази для ймовірності функ-

ціонування системи в стійкому виді набувають різний вигляд. Але вони суттєво спрощуються, якщо період досліджень досить довгий. Виконуючи перехід $t \rightarrow \infty$ маємо граничну умовну ймовірність накопичення антропогенних змін у рівноважній екосистемі.

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.

Розраховується *агроекологічний потенціал*, тобто здатність ґрунтів виконувати функцію сільськогосподарських угідь, створювати оптимальні умови для росту рослин, а також підтримувати екологічну рівновагу в агроландшафтах і природному середовищі:

$$АП = X_1 + X_2 + X_3 - X_4 - X_5 + X_6 + X_7 - X_8 - X_9 + X_{10}, (1)$$

де X_4 – антропометрична оцінка сумарної забрудненості ґрунтів за вмістом валових форм Co, Ni, Cu, Pb, Cr, Zn виконується в межах природно-сільськогосподарських районів України шляхом визначення загальної кратності перевищення їх фонових значень [8–10].

X_5 – антропоцентрична оцінка сумарної радіаційної забрудненості ґрунтів цезієм-137, стронцієм-90, ізотопами плутонію [11] виконується в межах природно-сільськогосподарських районів України шляхом визначення загальної кратності перевищення їх фонових значень.

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.

X_7 – оцінка стійкості ґрунтів виконується за показниками, що характеризують суми активних температур, крутизну схилів, кам'янистість, структурність, питомий опір, механічний склад, вміст гумусу, тип водного режиму, реакцію рН, залісненість, ємність іонів, розораність, господарську освоєність у межах природно-сільськогосподарських районів України.

X_8 – ступінь ураженості територій (зсувами, ерозією яружною і площинною, заболоченням, суфозією лесових порід, дефляцією, карстом, селями, засоленнями, підтопленням, просіданням, і обваланням над гірничими виробками) оцінювався у відсотках до площі природно-господарських районів.

При побудові формалізованої схеми процесу накопичення речовин у ґрунті прийемо такі припущення:

1. Будемо вважати, що надходження речовин у досліджуваний ґрунт відбувається тільки через рівні дискретні періоди часу.
2. Досліджується надходження всього N_1 видів речовин. Причому перші N із них – речовини, які в деякий період часу можуть бути розщеплені на деяку сукупність інших речовин. Для кожної i -ї ($i = \overline{1, N}$) речовини число m_i задає кількість речовин, на які може бути розщеплена досліджувана речовина. Таким чином $\sum_{i=1}^{N_1} m_i = N_1 - N$. Припустимо, що імовірність розщеплення i -ї ($i = \overline{1, N}$) речовини на m_i речовин задається як p_{ii} . Вважається, що речовини з номером $j = \overline{N+1, N_1}$, які отримані в результаті розщеплення перших N речовин, далі процесу розщеплення вже не підвладні. Накопичення речовин з номером $j = \overline{N+1, N_1}$ у ґрунті може здійснюватись не тільки за рахунок розщеплення речовин з номером $j = \overline{1, N}$ у ґрунті, але також в результаті безпосереднього надходження даних речовин у досліджуваний ґрунт. Зазначимо, що в загальному випадку імовірність розщеплення i -ї ($i = \overline{1, N}$) речовини на m_i речовин може залежати від етапу знаходження речовини у ґрунті. Але для спрощення викладок будемо вважати значення p_{ii} однаковим для різних етапів перебування у ґрунті.
3. Об'єм надходження речовини i -го ($i = \overline{1, N}$) виду будемо розглядати як випадкову величину η_i з дискретним розподілом. Якщо припустити, що надходження речовини вимірюється в деяких цілих одиницях, то можна вважати, що у випадку надходження у деякий період часу речовини i -го ($i = \overline{1, N}$) виду, її об'єм заокруглено дорівнює k умовних одиниць з імовірністю

$$r_k = p\{\eta_i = k\} \quad (k = 1, 2, \dots; \sum_{k=1}^{\infty} r_k = 1). \quad (2)$$
4. Вважається, що для кожної досліджуваної речовини j -го виду ($j = \overline{1, N_1}$) задається значення T_j – максимальна кількість етапів (періодів) знаходження j -го виду речовини у досліджуваному типі ґрунту.
5. Вибрана одиниця автоматного часу співпадає з умовним інтервалом часу між надходженнями речовин у ґрунт.
6. Вважаємо, що для кожної речовини j -го ($j = \overline{1, N_1}$) виду статистично (або експертно) визначена імовірність p_{2j} – імовірність можливої десорбції певного об'єму речовини j -го виду. Причому для спрощення викладок будемо вважати, що p_{2j} має однакове значення для різних етапів перебування речовини j -го виду у ґрунті (припущення аналогічне припущенню відносно значень p_{ii}).
7. Будемо вважати, що об'єм десорбції j -ї ($j = \overline{1, N_1}$) речовини на m -му етапі задається реалізацією випадкової речовини μ_{jm} , яка може приймати значення, рівне k умовним одиницям об'єму з імовірністю

$$r_{jmk} = p\{\mu_{jm} = k\} \quad (k = 1, 2, \dots, a_{jm}(t)), \quad (3)$$

де $a_{jm}(t)$ – значення об'єму накопиченої речовини j -го виду, що знаходиться на етапі m ($m = \overline{1, T_j}$) у момент часу t .

Основою автоматної моделі є побудова групи автоматів

$$A_{im} \quad (i = \overline{1, N_2}; m = \overline{1, T_i}), \quad (4)$$

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

Стан автомату $A_{ii}: a_{ii}(t)$ – 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

$$\max \left\{ 0, x_i(t) - \max \left\{ 0, y_i(t) - \sum_{k=0}^{T_i} a_{ik}(t) \right\} \right\}, \quad (5)$$

де $x(t)$ – 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:

$$y_i(t) = M_i(t) + Z_i(t), \quad (6)$$

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

$$Z_i(t) = \sum_{k=1}^{T_i} Z_{ik}(t), \quad i = \overline{1, N}. \quad (7)$$

Для $\forall i = \overline{N+1, N_1}, Z_i(t) = 0, Z_{ik}(t) = 0$, 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

$$Z_{ik}(t) = \sum_{j=\overline{1, N_1}}^{N_0+m_i} \bar{Z}_{jt}(t), \quad \bar{N}_i = N + m_1 + \dots + m_{i-1}, \quad (8)$$

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

$$y_i(t) = \sum_{k=1}^{T_i} y_{ik}(t), \quad (9)$$

в свою чергу:

$$y_{ik}(t) = m_{ik}(t) + Z_{ik}(t), \quad (10)$$

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 $i = \overline{N+1, N_2}$, згідно з початковими припущеннями, має сенс вважати, що $Z_{ik}(t) = 0$ для $k = 1, T_i$.

Умовні функціонали переходів, що відповідають імовірно-автоматній моделі, за допомогою якої враховується накопичення речовин у ґрунті, представлені у табл. 2.

Умовні функціонали переходів

$A_{i1}(i = \overline{1, N})$	$\max \left\{ 0, x_i(t) - \max \left\{ 0, y_i(t) - \sum_{k=0}^{T_i} a_{ik}(t) \right\} \right\}$
$A_{i1}(i = \overline{N+1, N_2})$	$\max \{ 0, x_i(t) + \bar{Z}_{i1}(t) - m_{i1}(t) \}$
$A_{ik}(i = \overline{1, N_2})(k = 2, T_i - 1)$	$\max \{ 0, a_{i,k-1}(t) - y_{ik}(t) \}$
$A_{iT_i}(k = T_i)(i = 1, N_2)$	$\max \{ 0, a_{i,T_i}(t) + a_{i,T_i-1}(t) - y_{iT_i}(t) \}$

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

$$2N_2 + \sum_{i=1}^{N_2} (T_i - 2). \quad N_2 = N_1 + N_p, \quad (11)$$

де N_2 – загальна кількість досліджуваних речовин; N_1 – кількість техногенних забруднювачів у ґрунті, N_p – кількість поживних речовин, що впливають на 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

$$\lambda(i, j) = \lambda(i, j) + 1. \quad (12)$$

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

$$PER(i) = PER(i) + 1. \quad (13)$$

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

$$\sum_{j=1}^{N_s} \lambda_{ij} = 1, \quad (14)$$

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

$$\lambda(i, j) = \frac{\lambda(i, j)}{PER(i)}. \quad (15)$$

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

$$I_{bp} = \frac{\Delta S}{\Delta F}, \quad (16)$$

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

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 $A_{i,k} \cdot S_t$ – 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. 3.

Множина побудованих автоматів є основою ймовірно-автоматної імітаційної моделі міграційного накопичення речовин у ґрунтах під дією техногенного навантаження. Міжавтоматним зв'язкам відповідає направлений граф, що поданий на рис. 1.

В роботі [16] надані розрахунки та результати перевірки синтезованої моделі на ізоморфність та проаналізовано її практичне значення для дослідження і прогнозування процесів міграційного накопичення техногенних забруднювачів у ґрунтах. Результати аналізу запропонованого методу надає можливість цілком адекватно на практиці досліджувати і прогнозувати процеси міграційного накопичення будь-яких речовин у ґрунтах певного типу.

Таблиця 3

Допоміжні умовні автомати

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

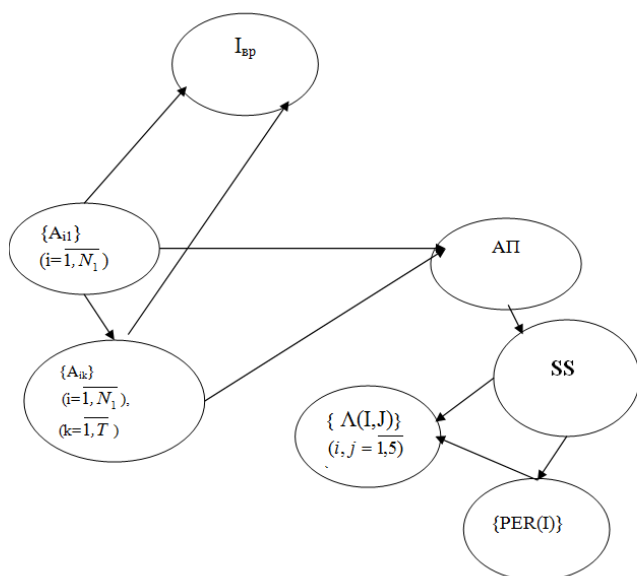


Рис. 1. Граф міжавтоматних зв'язків моделі

5. Апробація результатів досліджень

Для перевірки адекватності одержаної моделі та її практичного значення для дослідження і прогнозування процесів міграційного накопичення техногенних забруднювачів у ґрунтах було проведено

розрахункові (чисельні) експерименти за даними по Херсонській області стосовно важких металів, таких як кобальт, свинець, мідь, цинк. Їх результати показали, що ізоморфність моделі складає приблизно 87 %, тобто запропонований метод надає можливість цілком адекватно на практиці досліджувати і прогнозувати процеси міграційного накопичення будь-яких речовин у ґрунтах певного типу відповідного регіону.

6. Висновки

На основі проведеного аналізу існуючих методів дослідження міграційних процесів в ґрунтах було обґрунтовано застосування метода ймовірно-автоматного моделювання для дослідження і прогнозування процесів міграційного накопичення речовин, що проходять в ґрунтах під дією техногенного навантаження як один з найпридатніших методів в екологічних дослідженнях. Синтезовано ймовірно-автоматну модель, яка надає можливість не тільки дослідити процеси міграційного накопичення речовин у ґрунті, але й визначити, оцінити та прогнозувати зміну екологічної ємності ґрунтів, під дією випадкових впливів. Запропонований метод ймовірно-автоматного моделювання надає можливість перевірити допустимість введення певних промислових об'єктів та технологічних нововведень у регіоні, а також прогнозувати еволюційні екологічні процеси у регіоні.

Література

- Добровольский, Г. В. Экология почв. Учение об экологических функциях почв [Текст] / Г. В. Добровольский, Е. Д. Никитина. – М.: МГУ, 2006. – 364 с.
- Головатый, С. Е. Параметры и прогноз накопления селена в сене многолетних трав при внесении селенового удобрения [Текст] / С. Е. Головатый, З. С. Ковалевич, Н. К. Лукашенко. – Вестцы Нацыянальнай акадэмыі навук Беларусі, 2013. - № 1. – С. 58 – 63.
- Сокаев, К. Е. Транслокация тяжелых металлов в системе почва – растение [Текст] / К. Е. Сокаев, В. В. Бестаев. – Агрехимический вестник. – 2004. – № 2. – С. 16–18.
- Анисимов, В. С. Оценка миграционной способности и фитотоксичности Zn в системе почва –растение [Текст] / В. С. Анисимов, Н. И. Санжаров, Л. Н. Анисимова, С. А. Гераськин и др. // Агрехимия. – 2014. – № 1. – С. 64–74.
- Еськов, Е. К. Накопление свинца и кадмия различными органами растений в зависимости от их удаленности от автомагистралей [Текст] / Е. К. Еськов, М. Д. Еськова. – Агрехимия, 2013. - № 5. – С. 84 – 85.
- Minkina, T. M. Ecological resistance of the soilplant system to contamination by heavy metals [Text] / T. M. Minkina, G. V. Motusova, S. S. Mandzheeva, O. G. Nazarenko. I. Geochem Explor. – 2012. – Vol. 123. – P. 30–33. doi:10.1016/j.gexplo.2012.08.021
- Колесников, С. И. Сопоставление результатов лабораторного и полевого моделирования химического загрязнения почв [Текст] / С. И. Колесников, М. Г. Жаркова, И. В. Кутузова, К. Ш. Казеев // Агрехимия. – 2013. – № 5. – С. 86–94.
- Абрамов, І. Б. Оцінювання ризику забруднення ґрунту на основі вирішення геофільтраційної задачі [Текст] / І. Б. Абрамов, Т. В. Бойко, Ю. А. Запорожець // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2012. – Т. 2, № 14 (56). – С. 24–26.
- Бойко, Т. В. Матеріалістичне моделювання міграції забруднюючих речовин у ґрунтах [Текст] / Т. В. Бойко, А. О. Абрамова, Ю. А. Запорожець // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2013. – Т. 6, № 4 (66). – С. 14–17.
- Бойко, Т. В. Вирішення задачі фільтрації для моделі прогнозування забруднюючих речовин у ґрунті [Текст] / Ю. А. Запорожець, С. В. Брановицька. Збірник наукових статей Комп'ютерне моделювання в хімії, технологіях і системах сталого розвитку. – Київ, 2014.
- Dube, A. Adsorption and migration of heavy metals in soil [Text] / A. Dube, K I R Zbytniews, T. Kowalkowski, E. Cukrowska, Buszewski // Polish journal of environmental studies. – 2010. – Vol 10, Issue 1.
- Королев, Ю. А. Проверки эмпирического распределения агрохимических показателей и нормальность [Текст] / Ю. А. Королев, В. С. Анохин, Т. А. Калинина // Агрехимический вестник. – 2009. – № 5. – С. 19–22.
- Бакаев, А. А. Имитационные модели в экономике [Текст] / А. А. Бакаев, Н. И. Костина, Н. В. Яровицкий. – К.: Наукова думка, 1978. – 304 с.

14. Kostina, N. I. Automation modeling as an Instrument for the forecasting of Complex Economic Systems [Text] / N. I. Kostina // System dynamics Society. – 2003. – P. 135–145.
15. Котовенко, О. А. Стохастичне моделювання при дослідженні процесів під дією природокористування в регіоні [Текст] / О. А. Котовенко, О. Ю. Мірошніченко, Л. І. Соболевська // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Т. 2, 14 (56). – С. 37–41
16. Дослідження і визначення умов і механізмів екологічно-безпечного природокористування на рівні регіонів і регіональних екосистем [Текст] : звіт НДР (проміжний) : 4-ДБ-2007 / Київськ. нац. універ. будівн. і архітект. Кер. Заграй Я. М. – К., 2009. – 60 с. – № ДР 0107U000450. – Інв. № 21657632121
17. Заграй, Я. М. Вплив фізичних і хімічних забруднювачів на еко- і біосистеми [Текст] : монографія / Я. М. Заграй, О. А. Котовенко, О. Ю. Мірошніченко. – К. : КНУБА, 2009. – 276 с.
18. Тинсли, И. Поведение химических загрязнителей в окружающей среде [Текст] : пер. с англ. / И. Тинсли. – М. : Мир, 1982. – 168 с.
19. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях [Текст] : пер. с англ. /А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М. : Мир, 1989. – 270 с.
20. Jverson, W. P. Microbial transformation of heavy metals in Water Pollution [Text] / W. P. Jverson, E. F. Brinckman, Mitchell R. // Microbiology. – New York: Wiley Interscience. – 1988. – Vol. 2. – P. 201.
21. Bovard, P. In Isotopes and Radiation in Soil Organic Studies [Text] / P. Bovard, A. Granby, A. Seas. – Vienna IAEA, 1988. – 471 p.

Розглянуто питання аналізу стічних вод первинного виноробства, наведено їх хімічний склад. На основі досліджень хімічного складу стічних вод запропонований метаногенез, як найбільш ефективний спосіб очищення стічних вод, з можливістю отримання біогазу. Досліджено оптимальні параметри процесу анаеробного зброджування стічних вод для досягнення максимальної ефективності очищення та інтенсивності утворення біогазу

Ключові слова: виноробство, біогаз, метаногенез, біореактор, відходи, зброджування, очищення, стоки, енергоносій

Рассмотрены вопросы анализа сточных вод первичного виноделия, приведен их химический состав. На основе исследований химического состава сточных вод предложен метаногенез, как наиболее эффективный способ очистки сточных вод, с возможностью получения биогаза. Исследованы оптимальные параметры процесса анаэробного сбраживания сточных вод для достижения максимальной эффективности очистки и интенсивности образования биогаза

Ключевые слова: виноделие, биогаз, метаногенез, биореактор, отходы, сбраживание, очистка, стоки, энергоноситель

УДК 663.26:6063

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАНОГЕНЕЗА СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ ПЕРВИЧНОГО ВИНОДЕЛИЯ

Г. В. Крусир

Доктор технических наук, профессор*

E-mail: krussir_65@mail.ru

В. А. Дубровин

Доктор технических наук, профессор**

E-mail: dubrovin valeriy@gmail.com

В. Н. Полищук

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: polischuk.v.m@gmail.com

А. А. Дубовик

Директор ООО "Европейский сертификационный Центр"

ул. Экономическая, 34 б, г. Донецк, Украина, 83054

E-mail: aadubovuk@mail.ru

И. Ф. Соколова

Аспирант*

E-mail: kukuler4ik@mail.ru

*Кафедра экологии пищевых продуктов и производств

Одесская национальная академия пищевых технологий

ул. Канатная, 112, г. Одесса, Украина, 65039

**Кафедра охраны труда и инженерии среды

Национальный университет биоресурсов и

природопользования Украины

ул. Героев Обороны, 12, г. Киев, Украина, 03041

1. Введение

Защита окружающей среды от влияния высокоинтенсивных технологий - одна из ключевых задач

современного общества. Без решения этой проблемы невозможно дальнейшее развитие всех без исключения отраслей индустрии, в том числе и пищевой промышленности. Переработка винограда и производство