

МОНІТОРИНГ, МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ

УДК: 551.131

Шелудченко Б.А., Васик Л.С.
*Подільський державний
аграрно-технічний університет*

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КОНСТРУКЦІЙ ЛІСОЗАХИСНИХ СМУГ АВТОШЛЯХОВОЇ МЕРЕЖІ

Запропоновано використання принципів фрактально-інваріантного моделювання на стадії проектування лісозахисних смуг автотранспортної мережі.

Ключові слова: автотранспортна мережа, лісозахисна смуга, модель, фрактал.

Предложено использование принципов фрактально-инвариантного моделирования на стадии проектирования лесозащитных полос автотранспортной сети.

Ключевые слова: автотранспортная сеть, лесозащитная полоса, модель, фрактал.

The use of principals of fractal and invariant modeling has been proposed by designing forest shelter belts of motor transport network.

Keywords: motor transport network, forest shelter belts, model, fractal.

Постановка проблеми та її актуальність. Автошляхова мережа, як комплекс інженерних споруд, є об'єктом природно-техногенної конструкції певної екогеосистеми і призводить до порушення природного ландшафту, змінює режим стоку поверхневих і ґрунтових вод, що підсилює ерозійні процеси та деградацію ґрунтового покриву тощо [1,4,6]. Зміна природних ландшафтів внаслідок автошляхового будівництва призводить до порушення усереднених швидкостей вітру та зміни їх напрямків, що зумовлює зміни мікроклімату, а отже і структури прилеглих до автомобільного шляху елементів екосистеми. Дорога порушує традиційні сезонні шляхи міграції комах та окремих видів тварин. Використання при будівництві автомобільних доріг місцевих будівельних матеріалів, відходів промисловості, а в процесі експлуатації дороги – різних матеріалів антиожеледевого призначення, призводять до забруднення пришляхових територій та прилеглих водойм токсичними речовинами. Інженерні споруди автошляхової мережі (мостові переходи, труби, шляхові розв'язки, тунелі різної закладки і призначення, підпорні стінки, захисні споруди тощо) мають свою специфіку впливів на навколишнє середовище. Так, при будівництві мостових переходів відбувається переформування контуру берегової лінії водойм та зміна перерізів водотоків, порушується гідрологічний режим, з'являються розмиви. Можуть бути знищені нерестилища риб, зимувальні ями, тощо.

Отже, основною причиною ландшафтних порушень територій, прилеглих до автошляхів та пришляхових інженерних споруд, є розсічення природного середовища автошляховою трасою та автошляховою мережею загалом, що зумовлює штучну фрагментацію природно-техногенної конструкції ландшафту. На пришляхових резервно-технологічних смугах, смугах спеціального відведення або, де вони відсутні, на територіях, суміжних з полотном автошляху, виникають "крайові зони" ландшафтів з трансформованими або повністю деградованими екосистемами [2,3,7].

Аналіз сучасного стану проблеми. Державні будівельні норми України ДБН.А.2.2-1-2003 визначають будівництво та експлуатацію автотранспортних мереж як об'єктів, які становлять підвищену екологічну небезпеку (пп. 16, 22 Додатку Е ДБН.А.2.2-1-2003). Таким чином, розглядаючи особливості динаміки техногенного рельєфотворення в зоні впливу автошляхової мережі, необхідно вирішувати проблему його керованого контролю, особливо в межах геодинамічно активних територій. Найдієвішим методом захисту пришляхових територій є створення лісозахисних смуг, які мають бути спро-

ектовані з максимально можливою ефективністю їх використання як штучних геохімічних бар'єрів. Разом із цим слід зазначити, що практична реалізація проекту лісозахисної смуги (досягнення проектних параметрів) з огляду на біологічні особливості використовуваних деревних та чагарникових порід вимагає досить тривалого часу (до 15...20 років). Саме ця особливість зумовлює необхідність розробки, як відповідної моделі структури та складу лісозахисної смуги, так і модельного алгоритму виведення її на рівень проєктованих параметрів відповідно до визначеної категорії автодороги за показником інтенсивності руху [2, 3].

Методологічні основи обґрунтування параметрів лісозахисних смуг автотранспортної мережі. Якщо розглянути дві геометрично інваріантні (фрактальна інваріантність) [5] системи (наприклад, два відкоси з однаковим закладенням, але різних за висотою) і припустити, що шляхом уявної рівномірної деформації однієї з цих систем можна досягти їх суміщення при накладенні одна на одну, то всі точки систем 1 і 2, які при цьому співпадуть, будемо називати *збіжними*. Відстані між збіжними точками в обох системах будемо називати *збіжними відстанями*. Тобто, якщо дві системи однакової фізичної природи подібні (інваріантні), то це означає, що відповідні узагальнені координати E_i обох систем для будь-яких збіжних точок систем і збіжних моментів часу пропорційні поміж собою:

$$\frac{E_{i1}}{E_{i2}} = \mu, \quad (1)$$

де μ – коефіцієнт подібності (фрактальна, хаусдорфова, масова розмірність).

Якщо в співвідношеннях

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{E_1}{E_2} = \dots = \frac{E_{i1}}{E_{i2}} = \dots = \frac{E_{n1}}{E_{n2}} = \mu \quad (2)$$

розділити всі члени рівності на будь-який з членів, наприклад на $\frac{E_{i1}}{E_{i2}} = \mu$, то попереднє співвідношення перетвориться на безрозмірну рівність:

$$\frac{E'_1}{E'_2} = \frac{E'_1}{E'_2} = \dots = \frac{E'_{n1}}{E'_{n2}} = 1, \quad (3)$$

в якій всі величини є безрозмірними координатами, які виражені в одиницях збіжних величин E_{i1} та E_{i2} , причому чисельник кожної дробі дорівнює знаменнику тієї ж дробі, тобто безрозмірні збіжні величини чисельно дорівнюють одна одній.

Припустимо, що за результатами попередніх досліджень, нами встановлено чисто якісну наявність залежності поміж групою певних фізичних величин (параметрів деякої системи) n_i . Тривіально представимо цю залежність у вигляді:

$$f(n_1, n_2, \dots, n_k) = 0. \quad (4)$$

При цьому величини n_i можуть бути як постійними, так і змінюваними, а їх розмірність має бути відома.

Якщо, з попереднього виразу визначити деяку з величин n_i , наприклад

$$n_k = \varphi(n_1, n_2, \dots, n_{k-1}), \quad (5)$$

то легко бачити, що числове значення n_k буде залежати від обраної системи одиниць вимірювання величини n_i .

Разом з тим, якщо мова йде про одну й ту ж саму фізичну величину (один і той самий параметр системи), то виникає питання, чи можливо аби числовий вираз цієї величини залишався незмінюваним (інваріантним) при будь-якому перетворенні одиниць вимірювання. Очевидно, що інваріантними відносно перетворення одиниць можуть бути лише безрозмірні величини або комплекси, складені з розмірних параметрів таким чином, аби їх розмірності скоротились, тобто *безрозмірні комплекси*.

Зміна одиниць вимірювання деякої величини (параметра системи) є по-суті зміною масштабу, в якому зображується ця величина (параметр) за результатами вимірювання.

Очевидно, що всі безрозмірні співвідношення розмірних величин можна розглядати як масштаб, який залишається незмінюваним, якщо всі величини (параметри) безрозмірного комплексу змінюються в однакову кількість разів, тобто цей масштаб є хаусдорфівською розмірністю фрактала.

Таким чином параметри та їх динаміка для інваріантних систем є збіжними (подібними) в тому випадку, якщо всі безрозмірні комплекси однорідних величин, складені для інваріантних систем, будуть чисельно співпадати.

Кількість безрозмірних комплексів, необхідна для аналітичного моделювання системи визначається так званою π -теоремою (теоремою Бекінгема), відповідно до якої з k величин, які мають неоднакову розмірність, можна скласти $k - m$ безрозмірних комплексів, де m – кількість основних розмірностей, які визначають досліджувану систему.

Відповідно до методології опису систем (вербальний рівень моделювання), необхідно розробити її (системи) функціональний, морфологічний та інформаційний описи. У нашому випадку:

– функціональним описом системи є *транспортна ємність автошляхової мережі* D , тобто здатність ландшафту задовольняти транспортні потреби без порушення екологічної рівноваги. Транспортну ємність будемо визначати у вигляді питомої інтенсивності руху, $\left[\frac{1}{m} \right]$:

$$D_m = \frac{Y_a}{a}, \quad (6)$$

де Y_a – інтенсивність руху автотранспорту за категорією дороги, [авт.];

a – ширина полотна проїжджої частини дороги відповідної категорії, [м];

та питомою площею захисних смуг на одиниці довжини автошляхової ділянки, [м]:

$$\sigma = \frac{S_{33}}{l_0}, \quad (7)$$

де S_{33} – питома площа захисних смуг, [м²];

l_0 – одиниця довжини автошляхової ділянки, [км];

– інформаційним описом системи є величина репродуктивного індексу I , $\left[\frac{m}{\text{рік}} \right]$, який визначається репродуктивною здатністю території *по кисню* Π_k , $\left[\frac{m}{\text{рік}} \right]$:

$$\Pi_k = \sum_{i=1}^n C_i \cdot S_m \cdot K_1, \quad (8)$$

де C_i – щорічне продукування органічної речовини i -им рослинним угрупованням, $\left[\frac{m}{\text{га}} \right]$ (приймається:

для мішаного лісу 10...15, для оранки 5...6, зелених зон населених пунктів 0,8...1,0);

S_m – площа відповідної території, [га];

K_1 – коефіцієнт переходу від органічної речовини до кисню;

по водним поверхневим ресурсам Π_e , $\left[\frac{m}{\text{рік}} \right]$:

$$\Pi_e = \sum_{i=1}^n S_i \cdot \lambda \cdot K_2, \quad (9)$$

де λ – модуль поверхневого стоку даної ділянки, $\left[\frac{l}{m^2} \right]$;

S_i – площа території ділянки з визначеним модулем поверхневого стоку, [м²];

K_2 – коефіцієнт нерівномірності стоку [0,1 ... 1,0];

по ґрунтово-рослинному покриву Π_{ep} , $\left[\frac{m}{\text{рік}} \right]$:

$$\Pi_{ep} = 100 \cdot K_E \cdot \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{B}, \quad (10)$$

де B – час перетворення, [років] (обирається 25...30);

S_i – площа території i -ої ділянки з індивідуальною характеристикою, [га];

K_E – коефіцієнт еродованості ґрунту $[0,1 \dots 1,0]$;

по рослинному покриву Π_p , $\left[\frac{m}{\text{рік}} \right]$:

$$\Pi_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot S_i, \quad (11)$$

де C_i – щорічне продукування органічної речовини i -м рослинним угрупованням, $\left[\frac{m}{\text{га}} \right]$ (приймається: для мішаного лісу 10...15, для оранки 5...6, зелених зон населених пунктів 0,8...1,0);

S_i – площа території i -ої ділянки з індивідуальною характеристикою, $[\text{га}]$.

Таким чином, опис розглядуваної системи визначено комплексом:

$$\left(\begin{array}{l} D \left[\frac{1}{M} \right] \Rightarrow [L^{-1}] \\ I \left[\frac{m}{\text{рік}} \right] \Rightarrow [M \times T^{-1}] \\ R \left[\frac{M^2}{M^2} \right] \Rightarrow [L^2 \times L^{-2}] \\ \sigma \left[\frac{M^2}{M} \right] \Rightarrow [L^2 \times L^{-1}] \end{array} \right) \quad (12)$$

де $[L]$ – розмірність довжини;

$[M]$ – розмірність маси;

$[T]$ – розмірність часу.

Аналітична модель розглядуваної системи матиме вигляд:

$$\sigma = D^a \times I^b \times R^c, \quad (13)$$

або, відповідно до π -теорема Бекінгема, у вигляді єдиного безрозмірного комплексу:

$$f(n_1, n_2, \dots, n_k) = 0. \quad (14)$$

В даному співвідношенні розмірність чисельника має дорівнювати розмірності знаменника, а отже:

$$[L^2 \times L^{-1}] = [L^2 \times L^{-4}]^a \times [M \times T^{-1}]^b \times [L^2 \times L^{-2}]^c. \quad (15)$$

Після відповідного розв'язку останнього рівняння відносно a, b, c отримуємо:

$$\begin{cases} a = -1 \\ b = c = 0, \end{cases}$$

що визначає безрозмірний комплекс у вигляді:

$$(\pi) \Rightarrow \frac{\sigma}{I_0} \cdot D, \quad (16)$$

або після відповідних підстановок:

$$\mu = \frac{(\pi_n)}{(\pi_{n+1})} = \frac{Y_n}{Y_{n+1}}, \quad Y_{n+1} > Y_n. \quad (17)$$

Основні результати роботи. На підставі вищевикладеного визначено усереднене значення безрозмірного модельного комплексу автошляхової мережі за значеннями інтенсивності руху в залежності від категорії дороги, який становить – 0,620 (табл.1). Наведене усереднене значення безрозмірного комплексу відповідає фрактальній розмірності (розмірність Хаусдорфа-Безиковича) множини Кантора з погрішністю, яка не перевищує 1,7%:

$$\mu = \frac{\log 2}{\log 3} = 0,6309.$$

Таблиця 1

Результати визначення значення безрозмірного комплексу та фрактальної розмірності автошляхової мережі за показником категорії автодороги

Категорія дороги	1-а	1-б	2	3	4	5
Розрахунковий коефіцієнт інтенсивності руху, D_m	$\frac{15000}{30} = 500$	$\frac{7000}{20} = 350$	$\frac{2000}{8} = 250$	$\frac{1000}{7,5} = 133$	$\frac{500}{7} = 71$	$\frac{200}{4,5} = 44$
Розрахунковий безрозмірний комплекс, (π)	0,700	0,714	0,532	0,534	0,620	0,620
Усереднене значення безрозмірного комплексу, $(\bar{\pi})$	0,620					
Фрактальна розмірність, μ	0,631					
Модельний коефіцієнт інтенсивності руху, D_m	504	318	200	126	79	50
Похибка моделі	0,008	0,091	0,200	0,053	0,112	0,136

На підставі фрактально-інваріантного моделювання лісозахисних смуг автотранспортної мережі встановлено основні конструкційні співвідношення та визначена структура вертикального поперечного перерізу лісозахисної смуги ізолюючого типу в залежності від категорії (інтенсивності руху) дороги (табл. 2). Запропоновано варіанти структури лісозахисних смуг для автодоріг з різною інтенсивністю руху (рис.1).

Оцінка адекватності (за критерієм Пірсона) пропонованих конструкцій лісозахисних смуг, за показниками трансграничного переносу таких забруднювачів як CO , NO_x , SO_2 дозволила визначити довірчу ймовірність пропонованих моделей на рівні 95%.

Висновки та перспективи використання досліджень. Пропонована модель та відповідні методики моделювання є основою для проектування та досягнення проєктованих параметрів лісозахисних смуг автошляхової мережі на шляхах з різною інтенсивністю руху автотранспортних засобів. Дотримання обґрунтованих параметрів лісозахисних смуг дозволить значно підвищити показник автотранспортної ємності територій з високою щільністю автотранспортної мережі.

Література

1. Адаменко О.М. Екологічна геологія / О.М. Адаменко, Г.І. Рудько. – К. : Манускрипт, 1997. – 349с.
2. Бахмат О.М. Моніторинг транскордонного переносу забруднюючих речовин у штучних ландшафтах автошляхової мережі / О.М. Бахмат, Л.С. Васик, І.А. Шелудченко // Збірник наукових праць ПДАТУ. Спеціальний випуск до IV наук.-практ. конференції "Сучасні проблеми збалансованого природокористування". – Кам'янець-Подільський : ПДАТУ, 2008. – С.101-104.

Таблиця 2

Результати визначення конструктивної ширини лісозахисних смуг автотранспортної мережі в залежності від категорії автодороги

Категорія дороги	1-а	1-б	2	3	4	5
Фрактальна розмірність, μ	0,631					
Модельна ширина шляхової зони, м	104	68	45	29	29	18
Модельна ширина лісозахисної смуги, м	$\frac{104 - 27,5 - 12}{2} = 32,25$	$\frac{68 - 7,5 - 12}{2} = 23,25$	$\frac{45 - 7,5 - 6}{2} = 15,75$	$\frac{29 - 7 - 6}{2} = 8$	$\frac{29 - 7 - 6}{2} = 8$	$\frac{18 - 4,5 - 6}{2} = 3,$
Конструктивна ширина лісозахисної смуги, м	32	24	16	8	8	4
Конструктивна погрішність	0,007	0,031	0,047	0,0	0,0	0,063

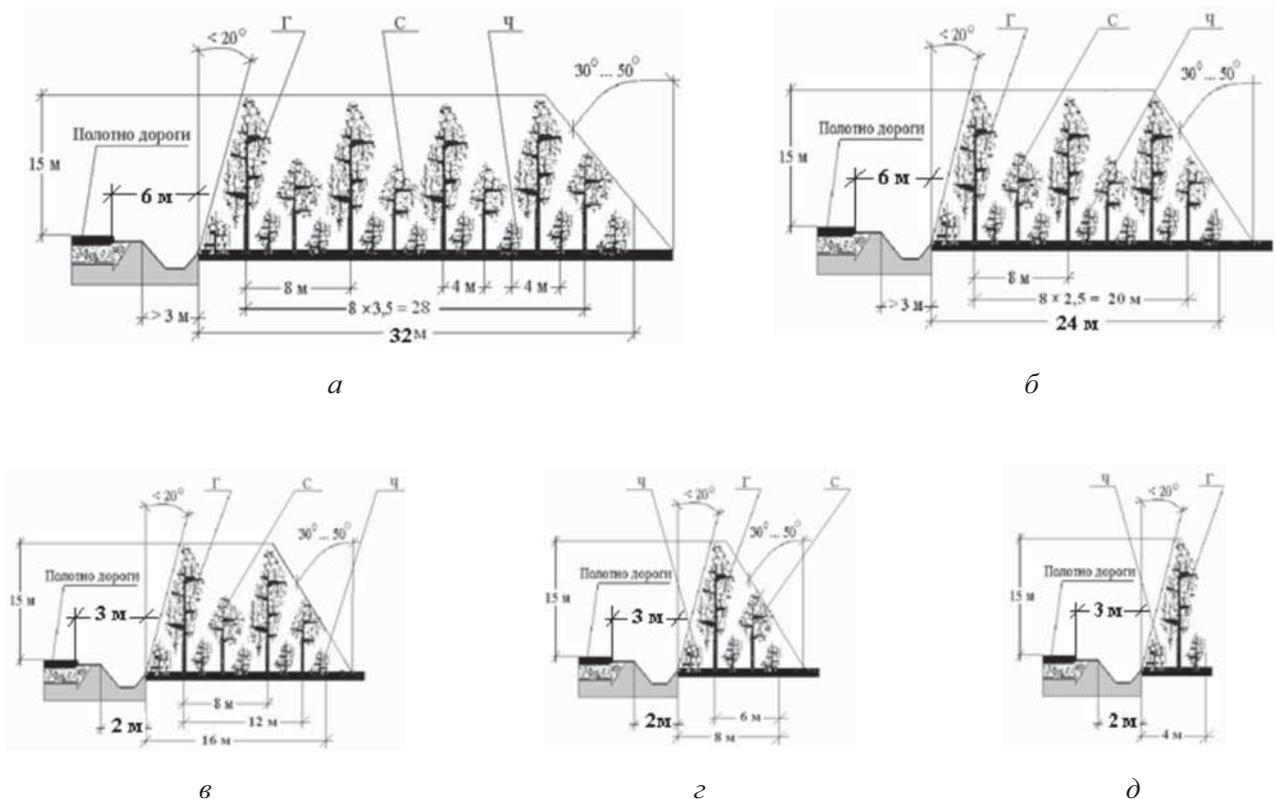


Рис. 1. Фрактально-інваріантні моделі лісозахисних смуг автошляхової мережі в залежності від категорії автодороги: а – категорії 1-а, 1-б; б – категорія 2; в – категорія 3; г – категорія 4; д – категорія 5; Г – головна порода; С – сунутня порода; Ч – чагарник.

3. Васик Л.С. Міські екосистеми / Л.С. Васик, Р.Ю. Гаврилянчик, І.А. Шелудченко [та ін.] // Інженерна екологія. Ч. VIII. – Кам'янець-Подільський : ТОВ "Каліграф", 2010. – 136 с.
4. Луканин В.Н. Промышленно-транспортная экология / В.Н. Луканин, Ю.В. Трофименко. – М.: Высшая школа, 2001. – 326 с.
5. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт. – М. : Ин-т компьютерных исследований, 2002. – 656 с.
6. Рудько Г.І. Конструктивна геоекологія / Г.І. Рудько, О.М. Адаменко. – К. : ТОВ "Маклаут", 2008. – 320 с.
7. Шелудченко Б.А. Методологія досліджень екосистем / Б.А. Шелудченко. – Кам'янець-Подільський : ПДАТУ, 2008. – 110 с.

УДК 736.035+57.082.14:630.114.443.1

Лабій Ю.М.

*Прикарпатський національний
університет ім. В. Стефаника,
м. Івано-Франківськ*

МОДЕЛЬ ЛУЧНИХ БІОГЕОЦЕНОЗІВ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ДЕГРАДАЦІЇ ЇХ НА РАННІХ СТАДІЯХ

Запропонована модель лучного біогеоценозу, що дозволяє досліджувати порушення як наслідок забруднення ґрунту і повітря відходами промисловості, а також вести пошук оптимальних умов середовища для біосинтезу рослинами цінних метаболітів.

Ключові слова: модель, біоіндикатор, експоненціальна залежність, рівняння регресії, облікова ділянка.

Предложена модель лугового биогеоценоза, позволяющая исследовать нарушения в начальной стадии процесса как следствие загрязнения почвы и воздуха отходами промышленности, а также вести поиск оптимальных условий среды для биосинтеза растениями ценных метаболитов.

Ключевые слова: модель, биоиндикатор, экспоненциальная зависимость, уравнения регрессий, учетный участок.

The model of meadowy biogeocoenose is revealed in the article. It gives the opportunity to investigate some displacement as a result of ground and air pollution by waste products. The model leads searching of optimal conditions of the environment for plants' biosynthesis of valuable metabolome.

Key words: model, bioindicator, exponential dependency, regression equation, register plot.

Актуальність проблеми. Прикарпатська нафтогазоносна провінція є також зоною із значними можливостями для розвитку туризму. На площі, що займає тільки 6% території України, зосереджено близько 20% лісового фонду держави [1].

Мету перебування в гірській місцевості подорожуючі вбачають, головним чином, у поліпшенні здоров'я. Екологічні обставини, притаманні окремим природним комплексам, проявляють виражену позитивну дію на людей. Приміром, лісові та лучні рослини в певні періоди вегетації продукують речовини, здатні нормалізувати психічний стан, лікувати легеневі недуги, на території регіону є джерела мінеральних вод, з яких готують тонізуючі напої, геологічне середовище, особливо відслонення гірських порід, сприяють зніманню втоми.

Посилена експлуатація природних ресурсів, розвиток промисловості нерідко призводить до порушення або повного виснаження комплексів. Для раціональної експлуатації багатств краю треба