

УДК 911.1+504.054.36

Ю.В. БУЦ, канд. геогр. наук, доцент
**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ
ПОСТПРОГЕННОЇ РЕЛАКСІЇ ГЕОСИСТЕМ**

Запропоновано регресійну модель, яка враховує вплив сукупності пірогенних факторів, що впливають на відновлення (релаксію) компонентів природних комплексів після надзвичайних ситуацій, породжених природними пожежами.

Ключевые слова: пожежа, геосистема, математична модель

УДК 911.1+504.054.36

Ю.В. БУЦ, канд. геогр. наук, доцент
**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ПОСТПРОГЕННОЙ РЕЛАКСИИ ГЕОСИСТЕМ**

Предложена регрессионная модель, которая учитывает влияние совокупности пиrogenных факторов, влияющих на восстановление (релаксию) компонентов природных комплексов после чрезвычайных ситуаций, возникших вследствие природных пожаров.

Ключевые слова: пожар, геосистема, математическая модель

UDK 911.1+504.054.36

Yu. V. Buc, PhD, associate professor
**MATHEMATICAL DESIGN
OF FIRES RELAXATION OF GEOSYSTEMS**

A regressive model, which takes into account influence of aggregate of progeny factors, that influence on renewal of components of natural complexes (relaxation) after extraordinary situations, arising up because of natural fires, is offered.

Keywords: fire, geosystem, mathematical model.

Постановка проблеми. В даний час науковим дослідженням, що спрямовані на вивчення впливу пірогенного (дослівно «породженого вогнем») фактора на природні комплекси в Україні приділяється недостатньо уваги. За великим рахунком – це поодинокі експериментальні дослідження впливу вогню на певні компоненти геосистем: рослинність, ґрунти, мезо- та мікрофауну, а також прогнозування і поширення природних пожеж [3, 4].

Не дивлячись на досягнення вітчизняних вчених в моделюванні пожеж в природних геосистемах, слід відзначити, що на сьогоднішній день відсутні математичні моделі, які б враховували індивідуальні особливості природних комплексів. Поодинокі, на наш погляд, наукові роботи, в яких розглядаються ризики виникнення пожеж в геосистемах різних природних зон. В кінцевому результаті, не відображені у вітчизняній науковій літературі дослідження спрямовані на відновлення і відтворення природних комплексів після пливу надзвичайних ситуацій пірогенного походження [1, 2].

Мета наших досліджень передбачала побудову математичної моделі, яка б враховувала вплив сукупності пірогенних чинників, що впливають на відновлення компонентів природних комплексів (релаксію) після надзвичайних ситуацій, породжених природними пожежами.

Результати досліджень та їх обговорення. Для виявлення закономірностей релаксії геосистем різних природних зон, було запропоновано побудувати регресійну модель, яка б враховувала вплив групи чинників (площа пожеж Y_1 , кількість пожеж Y_2 , втрату гумусу у ґрунті від дії вогню Y_3 , динаміку кислотно-лужного балансу Y_4 , тощо) на релаксію геосистем різних природних зон. Вирішальним фактором релаксії обрано відновлюваність видового різноманіття F (видового багатства Маргалефа) ключових ділянок, що зазнали впливу пірогенного чинника в порівнянні до видового різноманіття (видового багатства Маргалефа) фонових ділянок, що не зазнали дії пожеж (у відсотках). Спостереження проводилися протягом 2008 – 2012 рр. в межах території пройденої вогнем у Харківському регіоні.

Відповідна регресія є суттєво нелінійною, причому за всіма чинниками прослідковується обернено пропорційна залежність.

Нами запропоновано наступну регресійну залежність:

$$F = A_0 + \frac{A_1}{Y_1^{\alpha_1}} + \frac{A_2}{Y_2^{\alpha_2}} + \frac{A_3}{Y_3^{\alpha_3}} + \dots + \frac{A_n}{Y_n^{\alpha_n}} \quad (1)$$

F – показник відновлюваності геосистем;

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ – невідомі коефіцієнти кореляції;

$Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$ – чинники, що впливають на відновлення геосистем;

При умові введення нових перемінних (чинників): $X_i = Y_i^{-\alpha_i}$, ($i = 1, \dots, n$),

регресія стає лінійною:

$$F = A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_2 + A_3 X_3 + \dots + A_n X_n \quad (2)$$

Для знаходження невідомих коефіцієнтів A_i ($i = 0, \dots, n$) використано методом найменших квадратів та наявною статистичною інформацією за даними Харківського обласного управління лісового та мисливського господарства, а також результатами проведених експериментальних досліджень на основі польових спостережень. Математичні розрахунки проводились за допомогою програми MathCAD.

Ввівши прямокутну матрицю $X = \{X_{ij}\}$ ($i = 1, \dots, n; j = 0, \dots, m$)

$$X_{i0} = 1; X_{ij} = Y_{ij}^{-\alpha_j}, (i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m)$$

Оператор метода найменших квадратів дозволяє знайти вектор

$$\hat{A} = (\hat{A}_0 + \hat{A}_1 + \hat{A}_2 + \hat{A}_3, \dots, \hat{A}_n)^T, \quad (3)$$

оптимальний з погляду метода найменших квадратів:

$$\hat{A} = (X^T X)^{-1} X^T \vec{F}, \text{ де} \quad (4)$$

$\vec{F} = (38,4; 29,6; 23,4; 49,8; 36,2; 39,8)^T$ – вектор відновлюваності (%) за 6 територіальними одиницями (лісгоспами).

В результаті отримуємо вектор коефіцієнтів:

$$\hat{A}^T = (-36,047; -19,104; 102,82; 52,263; -0,083)^T$$

Показники α_j ($j = 1, \dots, n$), обирались із умови мінімізації суми квадратів нев'язок в заданих точках:

$$\Delta = \sum_{i=1}^6 (F_i - (X\hat{A})_i)^2 \Rightarrow \min \quad (5)$$

В результаті отримано наступні значення:

$$\alpha_1 = 0,1; \alpha_2 = 0,3; \alpha_3 = 0,2; \alpha_4 = 3;$$

Відповідна нев'язка при цьому склала величину $\approx 3\%$

Для перевірки якості регресії вираховувався коефіцієнт детермінації:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{n=1}^6 (F_n - F1_n)^2}{\sum_{n=1}^6 (F_n - \bar{F})^2}, \text{ де} \quad (6)$$

$$F1_n = (X\hat{A})_n, \bar{F} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 F_i$$

За проведеними розрахунками отримане значення становить $R^2 = 0,993$, що свідчить про адекватність моделі та можливості використання її для прогнозування.

Для більш наочного аналізу, прогнозування та розрахунку довірчих ймовірностей, запропоновано усереднені дані пожеж в геосистемах лісових масивів Харківського регіону та їх наслідків. Припустимо, що потрібно оцінити середню відновлюваність (релаксію) геосистеми при заданих значеннях:

$$- \text{середня площа пожежі } Y_{10} = S_0 = 20\text{га};$$

- середній кількості пожеж за рік $Y_{20} = N_0 = 30$;
 - середній втраті гумусу (%) у ґрунті внаслідок пожеж $Y_{30} = X_0 = 1$;
 - середній динамічності кислотно-лужного показника рН $Y_{40} = y_0 = 0,5$.
- Виразуємо точковий прогноз. Попередньо обчислимо

$$X_{jo} = Y_{jo}^{-\alpha_j}, (j = 1, \dots, 4), \text{ при цьому } X_{00} = 1.$$

Розрахуємо скалярний добуток, який і є точковим прогнозом:

$$F_0 = \vec{X}_0^T \hat{A} \quad (7)$$

В даному випадку $F_0 = 38,45$

Ввівши критерій

$$t = \frac{\vec{X}_0^T \hat{A} - \vec{X}_0^T \vec{A}}{S \sqrt{\vec{X}_0^T (X^T X)^{-1} \vec{X}_0}}, \text{ де} \quad (8)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (F_n - F_{1n})^2}{N - M}} \quad - \text{ незміщена оцінка середньоквадратичної похибки}$$

апроксимації. Величина t задовольняє t – розподілу Стьюдента з $N - M$ ступенями свободи. У наведеному випадку $N = 6$ – кількість точок спостережень; $M = 5$ – кількість невідомих коефіцієнтів. Враховуючи випадковий характер оцінок, отримуємо 100 (1-ε)% довірчий інтервал для математичного очікування прогнозу $M(F_0)$:

$$\vec{X}_0^T \hat{A} - t_{\varepsilon/2} \Delta F \leq M(F_0) \leq \vec{X}_0^T \hat{A} + t_{\varepsilon/2} \Delta F, \text{ де} \quad (9)$$

$$\Delta F = S \sqrt{\vec{X}_0^T (X^T X)^{-1} \vec{X}_0} \quad - \text{ похибка прогнозу.}$$

Враховуючи двосторонність критерію, $t_{\varepsilon/2}$ – значення критерію Стьюдента, що відповідає 100 (1-ε)% довірчий ймовірності.

В наведеному прикладі $t_{0,025} = 12,706$; $t_{0,05} = 6,314$

Отже, можна зробити висновок, що з ймовірністю 0,95 математичне очікування прогнозного значення буде знаходитись в інтервалі:

$$23,49 < M(F_0) < 53,42$$

Математичне очікування з ймовірністю 0,9 – $31,02 < M(F_0) < 45,89$.

Таким чином, аналізуючи значення коефіцієнтів можемо зробити висновок, що найбільший вплив на відновлюваність (релаксію) геосистем хвойних лісів мають кількість пожеж та їх періодичність, а також втрати гумусу у ґрунтах внаслідок термічної дії пірогенного чинника.

Аналогічним чином (за формулами 1, 2) побудовано регресійні моделі для відновлюваності (релаксії) геосистем на прикладі видового різноманіття Маргалефа для геосистем степів (остепнених лук) та водно-болотних природних комплексів

Проте враховуючи, що при розрахунках використано лише два показника, тому Y_1 – відповідає втраті гумусу у ґрунтах степових природних комплексів внаслідок пірогенної дії вогню; Y_2 – зміна показника рН. При цьому аналіз проводився за результатами експериментальних досліджень на основі проведених польових спостережень на чотирьох ключових ділянках ($N = 4$ – кількість точок спостережень; $M = 3$ – кількість невідомих коефіцієнтів).

В результаті застосування метода найменших квадратів, отримано значення вектора

$$\text{коефіцієнтів: } \hat{A}^T = (73,87; 0,1; 1,66)^T$$

Було обрано наступні показники: $\alpha_1 = 5$; $\alpha_2 = 1$;

Значення суми квадратів нев'язок: $\Delta = 4,7\%$

Коефіцієнт детермінації: $R^2 = 0,773$

Для даних розрахунків значення коефіцієнта дещо менше, ніж для геосистем соснових лісів, що пов'язано з відсутністю статистичних даних. Проте його величини достатньо для проведення прогнозу.

В якості прикладу обраний вектор прогнозних значень: $\vec{Y} = (0,75; 0,25)$. Тобто необхідно оцінити відновлюваність (релаксію) геосистем, коли втрати гумусу у ґрунті внаслідок пожежі складають величину $Y_{10} = 0,75$, а зміна рН при цьому становить $Y_{20} = 0,25$.

$$X_{jo} = Y_{jo}^{-\alpha_j}, (j = 1; 2), \text{ при цьому } X_{00} = 1.$$

Розрахуємо скалярний добуток, який і є точковим прогнозом:

$$F_0 = \vec{X}_0^T \hat{A} = 80,93$$

Аналогічно до попередніх розрахунків для геосистем соснових лісів, отримуємо довірчі інтервали за допомогою формули (7).

Для ймовірності 0,95 значення становлять $62,38 < M(F_0) < 99,5$;

Для ймовірності 0,9 – $71,7 < M(F_0) < 90,15$

Варто зазначити, що для геосистем степів та остепнених лук кореляція між відновлюваністю видового різноманіття та змінами показника кислотно-лужного балансу більша, ніж між відновлюваністю і втратами гумусу.

По аналогії з попередніми розрахунками для степових геосистем, проведено обчислення кореляції відновлюваності видового різноманіття геосистем водно-болотних природних комплексів з втратами гумусу та зміні рН.

Отримані значення коефіцієнтів становлять $\hat{A}^T = (87,58; 2,91; 0,029)^T$.

Було обрано наступні показники: $\alpha_1 = 0,7$; $\alpha_2 = 2$;

Значення суми квадратів нев'язностей: $\Delta = 0,96\%$

Коефіцієнт детермінації: $R^2 = 0,928$.

Розрахунки дозволяють провести прогноз. Для цього припускаємо, що при пожежі в геосистемі водно-болотних природних комплексів втрати гумусу становили 0,35%; зміна рН – 0,3. Отже, $\vec{Y} = (0,75; 0,25)$.

Згідно проведених обчислень за допомогою формули (7), отримуємо значення точкового прогнозу ($F_0 \approx 94\%$).

Подібно до попередніх розрахунків для геосистем соснових лісів і степів, отримуємо довірчі інтервали за допомогою формули (7).

Для ймовірності 0,95 значення становлять $85,53 < M(F_0) < 100$;

Для ймовірності 0,9 – $89,78 < M(F_0) < 98,17$

Отже, найбільша кореляція для водно-болотних геосистем виявлена між відновлюваністю видового різноманіття і втратами гумусу у ґрунтах внаслідок його згоряння при дії пірогенного чинника.

Висновок. Таким чином, аналізуючи значення коефіцієнтів \hat{A} , можемо зробити висновок, що найбільший вплив на відновлюваність видової різноманітності F (видового багатства Маргалефа) геосистем хвойних (соснових) лісів в межах лісостепової зони Харківського регіону мають кількість пожеж і їх періодичність, а також втрати гумусу в ґрунтах в результаті термічної дії пірогенного чинника. Для геосистем степів та остепнених лук кореляція між відновлюваністю видового різноманіття та змінами показника кислотно-лужного балансу більша, ніж між відновлюваністю і втратами гумусу. Найбільша кореляція для водно-болотних геосистем виявлена між відновлюваністю видового різноманіття і втратами гумусу у ґрунтах внаслідок його згоряння при дії пірогенного чинника

Подальші дослідження означеної проблеми, на наш погляд, повинні враховувати якомога більшу кількість чинників навколишнього природного середовища (зокрема, мікрокліматичні параметри геосистем, добовий стан природних комплексів) при встановленні закономірностей релаксії природно-територіальних комплексів після впливу пірогенного фактора, а також антропогенну роль у виникненні пожеж.

ЛІТЕРАТУРА

1. Буц Ю.В. Про математичне моделювання пожеж в природних екосистемах //Людина та довкілля. Проблеми неоекології. - Х.: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2012, № 3-4.- Х.- Вид-во ХНУ, 2012.- С. 17-22
2. Буц Ю.В. Математическое моделирование восстанавливаемости природных комплексов после воздействия пирогенного фактора //Международный научно-исследовательский журнал. Research Journal of International Studies. - Екатеринбург. : МНИЖ – 2013. – № 3 - С. 132 -138.
3. Гриценко А.В., Буц Ю.В. К вопросу о методологии исследований восстановления геосистем после чрезвычайных ситуаций // Проблемы охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки: Зб. наук. пр. УкрНДІЕП. – Х.: ВД «Райдер», 2011. – Вип. XXXIII. – С.3-11.
4. Научно-методические и прикладные аспекты экологизации: Монография / Под общ. ред. И.Ю. Швец. - Симферополь: ТНУ им. В.И. Вернадского, 2013. – 366с.