

УДК 551.509.328

*Проф. О.В. Глушков¹, д-р фіз.-мат. наук;
проф. О.Ю. Хецеліус¹, д-р фіз.-мат. наук; доц. Ю.Я. Бунякова¹,
канд. геогр. наук; Н. Биковченко², Ph. D., Dr. Tech. Sci.;
вчений секретар Ж.І. Патлашенко³, канд. фіз.-мат. наук*

МОДЕЛЮВАННЯ І ПРОГНОЗ ЧАСОВОЇ ДИНАМІКИ КОНЦЕНТРАЦІЇ ЗАБРУДНЮВАЧІВ У АТМОСФЕРІ ІНДУСТРІАЛЬНОГО МІСТА (НА ПРИКЛАДІ ОДЕСИ): НИЗЬКОРОЗМІРНИЙ ХАОС

Розглянуто результати дослідження динаміки варіації концентрації атмосферних забруднювачів (діоксиди нітрогену та сірки) у повітряних басейнах індустриальних міст України (на прикладі Одеси) за допомогою методів нелінійного прогнозування і теорії хаосу. Чисельно досліджено хаотичну поведінку часових рядів концентрації діоксидів нітрогену та сірки у кількох моніторингових постах Одеси. Зазвичай, для відтворення відповідного атрактора потрібно визначити часову затримку і розмірність вкладення. Першу визначають методами автокореляційної функції та усередненої взаємної інформації, а останню розраховують методами кореляції розмірності та алгоритмом хибних найближчих сусідів. Далі розраховують кореляційну розмірність, розмірність Каплана-Йорка, показники Ляпунова, ентропію Колмогорова. Внаслідок аналізу часових рядів виявлено прояви низькорозмірного хаосу, що дає змогу ефективно будувати короткостроковий прогноз динаміки флуктуації атмосферних забруднювачів.

Ключові слова: хаос, атмосфера, забруднювачі, часова динаміка, прогноз.

Вступ. Відомо, що хаос є альтернативою до поняття випадковості і відбувається у дуже простих детерміністичних системах. Незважаючи на те, що теорія хаосу накладає фундаментальні обмеження на довгострокове передбачення [1-16], вона може використовуватися для короткострокових передбачень, оскільки випадкові дані можуть містити прості детерміністичні відношення із тільки кількома ступенями свободи. З'явилися багато досліджень у багатьох галузях науки, що застосовували теорію хаосу до великої кількості різноманітних динамічних систем. Однак дослідження, що стосувалися нелінійної поведінки часових рядів концентраційного складу атмосфери, є поодинокі й їх результати неоднозначні. У роботі [5] проведено аналіз часових рядів концентрації NO₂, CO, O₃ і не отримано жодних ознак хаосу. З іншого боку, показано, що концентрації озону у Цинциннаті (штат Огайо) і Стамбулі є яскраво хаотичними і нелінійний підхід дає змогу отримувати задовільні результати [6]. У роботі [15] проведено аналіз часових рядів концентрації NO₂, CO, O₃ у Гданській обл. й знайдено свідчення наявності хаосу. Більше того, зроблено ефективний короткостроковий прогноз атмосферних забруднювачів за допомогою використання нелінійного аналізу. Ці дослідження доказали, що нелінійні методи теорії хаосу та динамічних систем можуть із задовільною точністю застосовуватися для короткострокових прогнозів часової динаміки концентрацій атмосферних забруднювачів. У цій роботі викладено результати застосування методів нелінійного прогнозування і теорії хаосу до аналізу часової динаміки варіацій концентрації атмосферних забруднювачів (діоксиди нітрогену та сірки) у повітряному басейні Одеси.

¹ Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, м. Одеса, Україна;

² Інститут хімії і захисту навколишнього середовища, Технічний університет Щецина, пр. Пястова, 42, 71-065, м. Щецин, Польща;

³ Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління м. Київ, Україна

Методологія пошуку хаосу у часових рядах

Експериментальні дані. У цьому аналізі використано моніторингові дані щодо часових рядів концентрацій діоксидів нітрогену та сірки у повітряному басейні Одеси за період з 1976 по 2000 рр. [2, 3]. Остаточню для аналізу використано багаторічні щогодинні значення концентрацій за обома забруднювачами на постах 8 та 10 (Одеса): 25×8760 точок даних. Для прикладу, на рис. наведено часовий ряд значень концентрації NO_2 (у мг/м^3).

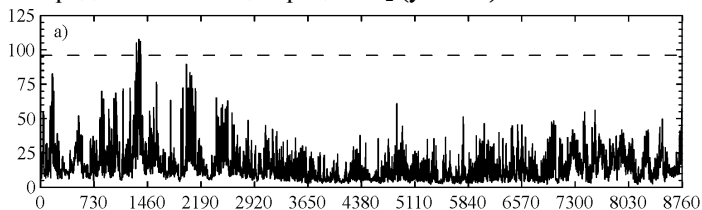


Рис. Часовий ряд значень концентрації NO_2 у мг/м^3

Пошук хаосу у часових рядах. Перевірку на наявність хаосу у часовому ряді даних детально описано у роботах [3, 15, 17-20], тому зупинимося тільки на кількох ключових аспектах. Розглянемо скалярне вимірювання

$$s(n) = s(t_0 + n\Delta t),$$

де: t_0 – початковий момент часу, Δt – часовий інтервал, а n – кількість вимірювань. У загальному випадку, $s(n)$ є будь-яким часовим рядом даних (наприклад, концентрація забруднювальних речовин в атмосфері).

Оскільки процеси, що призводять до хаотичної поведінки, є фундаментально мультиваріативні, потрібно відновити фазовий простір найефективнішим шляхом, використовуючи інформацію, що міститься у $s(n)$. Внаслідок такої реконструкції отримаємо набір векторів $y(n)$ розмірністю d для кожного скалярного вимірювання.

Основна ідея полягає у прямому використанні змінних затримок $s(n+\tau)$, де τ є ціле і буде визначено далі, визначає систему координат, в якій можна відновити структуру траєкторій у фазовому просторі. Шляхом використання набору часових затримок для відтворення вектора у просторі розмірністю d

$$y(n) = [s(n), s(n+\tau), s(n+2\tau), \dots, s(n+(d-1)\tau)]$$

визначаються необхідні координати. У нелінійній системі $s(n+j\tau)$ є невідомі нелінійні комбінації вихідних фізичних змінних. Розмірність простору d є розмірністю вкладення d_E .

Часова затримка. Вибір відповідної часової затримки є важливим для подальшої реконструкції фазового простору. Якщо τ обирається замалим, то координати $s(n+j\tau)$, $s(n+(j+1)\tau)$ є настільки близькі один до одного в чисельному представленні, що не можуть бути відрізані один від одного. Якщо τ занадто велике, тоді $s(n+j\tau)$ і $s(n+(j+1)\tau)$ є повністю незалежні один від одного у статистичному розумінні. Якщо τ замале або завелике, тоді кореляційна розмірність атрактора може бути занижена або завищена. Тому потрібно обирати певне середнє значення між двома названими вище випадками.

Перший підхід полягає у розрахунку лінійної функції автокореляції $C_L(\delta)$ і визначенні такої часової затримки, за якої $C_L(\delta)$ найшвидше проходить через нуль. Це дає добру оцінку вибору τ , за якого $s(n+j\tau)$ і $s(n+(j+1)\tau)$ є лінійно незалежними. Краще використовувати підхід нелінійної концепції незалежності, наприклад усередненої спільної інформації. Спільна інформація I двох вимірювань a_i і b_k є симетричною і невід'ємною і дорівнює нулю тільки у випадку, коли системи є незалежні. Усереднена взаємна інформація між будь-яким значенням a_i зі системи A і b_k із системи B усереднюється за всіма можливими вимірюваннями $I_{AB}(a_i, b_k)$. У роботі [4] пропонують обрати значення τ таким, для якого спостерігається перший мінімум $I(\tau)$.

Розмірність вкладення. Мета визначення розмірності вкладення полягає у реконструкції евклідового простору R^d достатньої розмірності, щоб набір точок d_A міг бути однозначно розгорнутим. Розмірність вкладення d_E має бути більша або дорівнювати розмірності атрактора d_A , тобто $d_E > d_A$. Іншими словами, можемо свідомо обрати велике значення розмірності d_E , наприклад 10 чи 15, оскільки попередній аналіз дає змогу припустити, що динаміка системи є, ймовірно, хаотичною.

Аналіз інтегралу кореляції – один із широковживаних методів дослідження хаосу у часових рядах. В аналізі використовують кореляційний інтеграл $C(r)$ для розділення між хаотичними і стохастичними системами. Інтеграл $C(r)$ розраховують на основі алгоритму [8] згідно з версією, запропонованою в [3, 4]. Якщо часовий ряд характеризується атрактором, тоді кореляційний інтеграл співвідноситься із радіусом r таким чином:

$$d = \lim_{\substack{r \rightarrow 0 \\ N \rightarrow \infty}} \frac{\log C(r)}{\log r},$$

де d є кореляційною експонентою. У випадку, коли кореляційна експонента досягає насичення зі збільшенням розмірності вкладення, зазвичай вважають, що система має хаотичну динаміку. Значення насичення кореляційної експоненти визначають як розмірність кореляції (d_2) атрактора [3, 4, 15-21].

Результати аналізу часових рядів атмосферних забруднювачів

Результати. У табл. 2 наведено результати часових затримок, розрахованих для перших 1000 значень часових рядів даних. Автокореляційна функція перетинає нуль тільки для часових рядів концентрації NO_2 для моніторингової точки № 15, а для інших часових рядів ця статистика залишається позитивною. Значення, де автокореляційна функція досягає значення 0,1 може бути обрано як τ , однак в [1] показано, що атрактор не може бути адекватно реконструйований для дуже великих значень τ . Таким чином, перед тим, як зробити остаточне рішення, розраховуємо розмірність атрактора для усіх значень з табл. 1.

Отриманий результат пояснює не тільки некоректні значення τ , але й недоліки методу кореляційної розмірності [2]. Якщо застосувати алгоритм [1], то відсоток хибних найближчих сусідів є відносно великим для великих τ . Якщо часова затримка визначається усередненою спільною інформацією, тоді алгоритм хибних найближчих сусідів дає величину $d_E = 6$ для усіх забруднювачів.

Табл. 1. Часові затримки для різних значень C_L , і перший мінімум усередненої спільної інформації $I_{\min 1}$ для часових рядів NO_2 , SO_2 у моніторинговому пункті № 10 в Одесі

	Моніторинговий пункт № 10	
	NO_2	SO_2
$C_L = 0$	–	–
$C_L = 0,1$	141	218
$C_L = 0,5$	8	15
$I_{\min 1}$	11	21

Аналіз хаосу на основі показників Ляпунова. Найперше, важливо визначити, наскільки передбачуваною є хаотична система. Її передбачуваність може бути оцінена за допомогою ентропії Колмогорова, яка є пропорційною сумі додатних експонент Ляпунова. Спектр експонент Ляпунова є динамічним інваріантом нелінійної системи із хаотичною поведінкою.

Обмеженість передбачуваності хаосу визначається локальними і глобальними експонентами Ляпунова, що можуть бути визначені з вимірювань. Експоненти Ляпунова відносять до власних значень лінеаризованої динаміки по всьому аттрактору. Від'ємні значення відповідають стабільній поведінці, а позитивні значення – локальній нестабільній поведінці.

Для хаотичних систем, що є одночасно стабільні і нестабільні, експоненти Ляпунова показують складність їх динаміки. Великі позитивні значення визначають певний усереднений ліміт передбачуваності. Оскільки експоненти Ляпунова визначаються як асимптотичні середні величини, вони не залежать від вихідних умов, тобто від вибору траєкторії, і складають інваріантну міру аттрактора. Оцінка цієї міри є сума позитивних експонент Ляпунова. Оцінка розмірності аттрактора визначається кон'єктурою d_L і експоненти Ляпунова обираються у порядку зменшення. Розмірність d_L визначає значення близькі до оцінки розмірності, що розглядають вище, і більш ефективна для оцінки високих розмірностей. Для розрахунку експонент Ляпунова використовуємо метод лінійних інтерпольованих карт [1-4], однак також можуть використовуватися карти із більшим порядком поліномів.

Нелінійна модель хаотичного процесу. Нелінійна модель хаотичного процесу ґрунтується на концепції компактного геометричного аттрактора, на якому розвиваються спостереження. Виходячи з того, що траєкторія загортається назад на себе дисипативними силами і нелінійною частиною динаміки, деякі точки траєкторії $y^r(k)$, $r = 1, 2, \dots, N_B$ можуть бути знайдені в околиці будь-якої точки траєкторії $y(k)$. Тоді можна обрати певну інтерполяційну функцію, яка враховує увесь окіл фазового простору і за якими закономірностями змінюється весь набір точок в околі $y(k+1)$ для всього околу $y(k)$. Впровадження цієї концепції полягає у побудові параметризованої нелінійної функції $F(x, a)$ що перетворює $y(k)$ у

$$y(k+1) = F(y(k), a)$$

і використанні різних критеріїв для визначення параметрів **a**. Виходячи з наявності математичного запису місцевого околу, можливо побудувати модель шляхом оброблення околу за околom і, після зшивки локальних моделей, побудува-

ти глобальну нелінійну модель, що вміщує більшу частину структури у самому аттракторі.

Аналіз та короткостроковий прогноз часових рядів атмосферних забруднювачів. Табл. 2 демонструє розраховані параметри: кореляційну розмірність (d_2), розмірність вкладення (d_E), розмірність Каплана-Йорке (d_L), дві перші експоненти Ляпунова $E(\lambda_1, \lambda_2)$, і середню межу передбачуваності ($Pr_{\max}$, год) для часових рядів NO_2 , SO_2 на моніторингових точках Одеси (січень 1976 р.-грудень 2000 р.).

З табл. 2 випливає, що розмірність Каплана-Йорка, яка також є розмірністю аттрактора, є меншою, ніж розмірність, отримана за допомогою алгоритму хибних найближчих сусідів.

Табл. 2. Кореляційна розмірність (d_2), розмірність вкладення (d_E), розмірність Каплана-Йорка (d_L), дві перші експоненти Ляпунова $E(\lambda_1, \lambda_2)$, і середня межа передбачуваності ($Pr_{\max}$, год) для часових рядів NO_2 , SO_2 на моніторингових точках Одеси (січень 1976 р.-грудень 2000)

	Точка 18 (Одеса) NO_2	Точка 18 (Одеса) SO_2	Точка 10 (Одеса) NO_2	Точка 10 (Одеса) SO_2
λ_1	0,0185	0,0164	0,0191	0,0152
λ_2	0,0058	0,0061	0,0049	0,0046
d_2	5,28	1,62	5,26	3,47
d_E	6	6	6	6
d_L	4,08	5,03	3,91	4,62
$Pr_{\max}$	40	45	41	47

Наявність двох (зі шести) позитивних λ_i дає змогу припустити, що система розширюється вздовж двох осей і звужується за чотирма осями у 6-вимірному просторі. Часові ряди SO_2 у моніторинговій точці № 10 мають найбільшу передбачуваність (більше двох діб), а передбачуваність інших часових рядів має меншу передбачуваність, яка становить дещо менше двох діб.

Висновки. Отже, наведено результати чисельного аналізу та прогнозу часової динаміки концентрацій атмосферних забруднювачів (діоксиди нітрогену та сірки) у повітряному басейні Одеси на основі методів теорії хаосу та динамічних систем. Для реконструкції відповідного аттрактора системи чисельно визначено часову затримку за допомогою методів автокореляційної функції та усередненої спільної інформації і розмірність вкладення за допомогою методів кореляційної розмірності та алгоритму хибних найближчих сусідів. Розраховано кореляційну розмірність, розмірність Каплана-Йорка, показники Ляпунова, ентропію Колмогорова, середню межу передбачуваності і доказано існування елементів низькорозмірного хаосу в досліджених системах, що далі надає можливість короткострокового прогнозу часової динаміки концентрацій атмосферних забруднювачів в атмосфері індустріального міста.

Література

1. Bykowszczenko N. Determination of heavy metal concentration in mosses of Słowiński National Park using atomic absorption spectrometry and neutron activation analysis methods / Bykowszczenko N., Baranowska-Bosiacka I., Bosiacka B., Kaczmarek A., Chlubek D. // Pol J Environment. Stud. – 2006. – Vol. 15. – Pp. 41-46.

2. Glushkov A.V. Non-linear prediction method in forecast of air pollutants NO₂, SO₂, CO₂, CO. Transport and Air Pollution / Glushkov A.V., Khokhlov V.N., Loboda N.S., Khetselius O. Yu., Bunyakova Yu.Ya. – Zürich : ETH University Press (Switzerland), 2010. – Pp. 131-146.
3. Bunyakova Yu.Ya. Analysis and forecasting the anthropogenic factors effect on an air baseline of the industrial city / Yu.Ya. Bunyakova, A.V. Glushkov. – Odessa, Ecology, 2010. – 125 p.
4. Gallager R.G.: Information theory and reliable communication / R.G. Gallager. – New York : Wiley, 1986. – 84 p.
5. Lanfredi M. Searching for low dimensionality in air pollution time series / M. Lanfredi, M. Macchiato. // Europhysics Letters 1997, 1997. – Pp. 589-594.
6. Koçak K. Nonlinear time series prediction of O₃ concentration in Istanbul / K. Koçak, L. Şaylan, O. Şen. // Atmospheric Environment (Elsevier), 2000. – Vol. 34. – Pp. 1267-1271.
7. Kennel M.B. Determining embedding dimension for phase-space reconstruction using a geometrical construction / Kennel M.B., Brown R., Abarbanel H. // Physical Review A, 1992. – Vol. 45. – Pp. 3403-3411.
8. Grassberger P. Measuring the strangeness of strange attractors / Grassberger P., Procaccia I. – Physica D. – 1983. – Vol. 9. – Pp. 189-208.
9. Glushkov A.V. Modeling of interaction of non-linear vibrational systems on basis of temporal series analyses (application to semiconductor quantum generators) / Glushkov A.V., Prepelitsa G.P., Khetselius O. Yu., Kuzakon V.M., Solyanikova E.P., Svinarenko A.A. // Dynamical Systems – Theory and Applications. (Lodz, Poland) BIF-110, 2010. – Pp. 1-8.
10. Glushkov A. Sensing non-linear chaotic features in dynamics of system of coupled autogenerators / Glushkov A., Fedchuk A., Svinarenko A. et al. // Sensor Electronics and Microsystem Technologies, 2007. – Vol. 1(4). – Pp. 14-17.
11. Glushkov A.V. Atmospheric teleconnection patterns: wavelet analysis. Nonlin / Glushkov A.V., Khokhlov V.N., Tsenenko I. // Proc. in Geophysics, 2004. – Vol. 11. – Pp. 285-293.
12. Glushkov A.V. Wavelet analysis and sensing the total ozone content in the Earth atmosphere: MST "Geomath" / Glushkov A.V., Khokhlov V.N., Svinarenko A.A., Bunyakova Yu.Ya., Prepelitsa G.P. // Sensor Electronics and Microsystem Technologies, 2005. – Vol. 2 (3). – Pp. 43-48.
13. Rusov V.D. On possible genesis of fractal dimensions in turbulent pulsations of cosmic plasma- galactic-origin rays-turbulent pulsation in planetary atmosphere system / Rusov V.D., Glushkov A.V., Prepelitsa G.P., et al. // Adv. Space Research (Elsevier), 2008. – Vol. 42. – Pp. 1614-1617.
14. Glushkov A.V. Methods of a chaos theory / A.V. Glushkov. – Odessa, Astroprint, 2012.
15. Khokhlov V.N. Short-range forecast of atmospheric pollutants using non-linear prediction method / Khokhlov V.N., Glushkov A.V., Loboda N.S., Bunyakova Yu.Ya. // Atmospheric Environment (Elsevier), 2008. – Vol. 42. – Pp. 1213-1220.
16. Khokhlov V.N. Signatures of low-D chaos in hourly water level measurements at coastal site of Mariupol, Ukraine / Khokhlov V.N., Glushkov A.V., Loboda N.S., Serbov N.G., Zhurbenko K. // Stoch Environ Res Risk Assess (Springer), 2008. – Vol. 22 (6). – Pp. 777-788.
17. Glushkov A. Using meteorodata for reconstruction of annual runoff series: Orthogonal functions approach / Glushkov A., Loboda N., Khokhlov V. // Atmospheric Research (Elsevier), 2005. – Vol. 77. – Pp. 100-113.
18. Glushkov A.V. Non-linear prediction method in short-range forecast of atmospheric pollutants: low-D chaos / Glushkov A.V., Khetselius O. Yu., Bunyakova Yu.Ya., et al. // Dynamical Systems – Theory and Applications (Łódź, Poland) LIF111, 2011. – Pp. 1-6.
19. Glushkov A.V. Geometry of Chaos: Theoretical basis's of a consistent combined approach to treating chaotic dynamical systems and their parameters determination / Glushkov A.V., Kuzakon' V.M., Khetselius O. Yu., Prepelitsa G.P., Svinarenko A.A., Zaichko P.A. // Proc. of International Geometry Center, 2013. – Vol. 6 (1). – Pp. 43-48.
20. Glushkov A.V. Geometry of Chaos: Consistent combined approach to treating chaotic dynamics atmospheric pollutants and its forecasting / Glushkov A.V., Kuzakon' V.M., Khetselius O. Yu., Bunyakova Yu.Ya., Zaichko P.A. // Proc. of International Geometry Center, 2013. – Vol. 6 (3). – Pp. 6-13.

Глушков А.В., Хецелиус О.Ю., Бунякова Ю.Я., Быковченко Н., Патлашенко Ж.И. Моделирование и прогноз временной динамики концентрации загрязнителей в атмосфере индустриального города (на примере Одессы): низкоразмерный хаос

Рассмотрены результаты исследования динамики вариации концентрации атмосферных загрязнителей (диоксиды азота и серы) в воздушных бассейнах промышленных городов Украины (на примере Одессы) с помощью методов нелинейного прогнозирования и теории хаоса. Численно исследовано хаотическое поведение временных рядов концентрации диоксидов азота и серы на нескольких мониторинговых постах Одессы. Обычно, для построения соответствующих аттракторов необходимо определить временную задержку и размерность вложения. Первая определяется методами автокорреляционной функции и усредненной взаимной информации, а последняя рассчитывается методами корреляции размерности и алгоритмом ложных ближайших соседей. Далее рассчитываются корреляционная размерность, размерность Каплана-Йорка, показатели Ляпунова, энтропия Колмогорова. В результате анализа временных рядов обнаружены проявления низкоразмерного хаоса, дающие возможность эффективно строить краткосрочный прогноз динамики флуктуации атмосферных загрязнителей.

Ключевые слова: хаос, атмосфера, загрязнители, временная динамика, прогноз.

Glushkov O.V., Khetsleius O.Yu., Bunyakova Yu.Ya., Bykowszczenko N., Zh.I. Patlashenko Zh.I. Modeling and Forecasting of Temporal Dynamics of Pollutant Concentrations for Atmosphere of an Industrial City (Odessa): Low-dimensional Chaos

Some research results of atmospheric pollutants (nitrogen and sulphur dioxides) concentrations of variation dynamics in air basins of an industrial city (Odessa) by using non-linear prediction and chaos theory methods are presented. Chaotic behavior in nitrogen and sulphur dioxides concentrations time series at several Odessa observation sites is numerically investigated. Time delay and embedding dimension are used to reconstruct the corresponding attractor. The first parameter is determined by methods of autocorrelation function and average mutual information, and the last one is calculated by correlation dimension method and algorithm of false nearest neighbors. Further, correlation and Kaplan-Yorke dimensions, and also Lyapunov's exponents spectrum and Kolmogorov entropy are computed. The existence of a low-dimension chaos in time series has been found that provides a possibility of short-term forecast of atmospheric pollutants fluctuations dynamics.

Keywords: chaos, atmosphere, pollutants, temporal dynamics, forecast.

УДК 712.4:582.32

*Доц. К.В. Масвський, канд. с.-г. наук –
НУ біоресурсів і природокористування України, м. Київ*

ОЦІНЮВАННЯ ДЕКОРАТИВНОСТІ МОХОПОДІБНИХ НА ПРИКЛАДІ ПРЕДСТАВНИКІВ БРЮФЛОРИ МІСТА КИЄВА

Розглянуто питання оцінювання декоративності мохоподібних для потреб садово-паркового мистецтва. Проаналізовано наявні методи оцінювання декоративності рослин. На основі методу Котелової-Виноградової розроблено оригінальну методику комплексного декоративного оцінювання бріюфітів. Виділено складові елементи загального оцінювання декоративності кожного бріюфіта (декоративність форми росту, забарвлення вегетативної частини, текстура поверхні вегетативної частини, декоративність вегетативної частини у сухому стані, декоративність генеративних органів) та встановлено відповідні коефіцієнти їх значущості. Внаслідок комплексного декоративного оцінювання бріюфлори Києва, за розробленою методикою, встановлено, що зі 128 виявлених видів мохоподібних – представники 60 є досить декоративними видами, 52 – задовільно декоративними, 14 – високодекоративними, 2 – низькодекоративними. Розроблену методику комплексного декоративного оцінювання можна застосовувати для оцінювання декоративності інших представників мохоподібних.

Ключові слова: бріюфлора, комплексне оцінювання декоративності, критерії, мох, мохоподібні, метод.