

УДК 075.330.115

## **СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ПРОЦЕСІВ РІЗНОЇ ПРИРОДИ**

**Ю.М. СЕЛІН**

Проведено огляд поточного стану досліджень в області охорони навколишнього середовища у залежності від негативного впливу екологічно небезпечних процесів різної природи. Виявлені взаємодії і взаємозалежності однотипних і різнотипних процесів. Запропоновано класифікацію цих процесів, побудовану на їхньому генезисі за ступенями впливу, а також запобігання або мінімізацію можливого збитку для екосередовища від руйнівної дії.

У 20 ст., особливо в останній його третині, підсилюється вплив людини на природу, у зв'язку з чим екологія набула особливого значення як наукова основа раціонального природокористування й охорони живих організмів. Екологічні проблеми, породжені сучасним розвитком суспільства, викликали сплеск наукових досліджень [1, 2 та ін.], технічних розробок і законодавчих рішень, ціль яких — охорона навколишнього середовища і стійкий економічний розвиток.

Безперервне ускладнення природних, кліматичних, екологічних, техногенних, геологічних процесів у світі негативно впливає, насамперед, на господарські об'єкти складних інженерних і будівельних конструкцій у різних регіонах планети, від яких цілком залежить сучасна людина. Наслідком таких дій є погіршення надійності і довговічності різних будівель, прискорення процесів руйнування унікальних історичних пам'яток. Тому все більш актуальною стає проблема системного аналізу динаміки й оцінювання наслідків впливу таких процесів [3]. Зокрема, її актуальність в Україні обумовлена великими матеріальними збитками у різних регіонах країни від негативних природних та екологічних процесів.

Забезпечення екологічної безпеки, а саме скорочення забруднення повітря, вод, продуктів харчування, зниження захворюваності, ощадлива експлуатація природних ресурсів, є засобом рішення проблеми виживання людства у нових умовах. Інструмент — система законодавчих і економічних заходів, що використовується державою для стимуляції примусу забруднювачів навколишнього середовища до зниження рівня забруднення, перехід на екологічно захисні виробничі цикли, які змінюють «брудні» галузі і створюють нові компанії, а, значить, створюють і нові робочі місця у рамках природоохоронних технологій [4].

Цим обумовлена необхідність розробки нових підходів у екологічній політиці, які могли б радикально поліпшити стан навколишнього середовища. Глобальність сучасних процесів, зростаючі обсяги інформації і обмежений час на вироблення і прийняття управлінських рішень вимагають створення інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, нагромадження й обробки інформаційної бази результатів контролю і безлічі типових рішень для осіб і організацій, відповідальних за прийняття і виконання рішень в еколого-економічному середовищі. Розв'язання цієї задачі вимагає, у свою чергу, розробки нових підходів, моделей методів і алгоритмів з позиції досягнення єдиної мети в умовах різномірної невизначеності [5]. Все це потребує використання системного аналізу як універсальної методології сучасності. Бурхливий ріст досліджень в області математичного моделювання в екології [6, 7] поки не привів до створення узагальнюючих екологічних моделей, які узгоджують всі елементи екологічних процесів для побудови цілісної системи. Це ще одна причина необхідності використання системного підходу до рішення «проблеми глобальної екології» [1] у сенсі вищезгаданого принципу.

За екологічно небезпечні процеси в цій роботі прийняті екзогенні й ендегенні (антропогенні), короткострокові або довгострокові впливи на екологічну систему в цілому або на її окремий елемент, що приводять до порушення якості функціонування або його збою, що, у свою чергу, погіршує баланс людина – середовище проживання [8].

Екологічно небезпечні процеси є підмножиною складних фізичних систем [9] із усіма їхніми властивостями — відкритістю, динамічністю, унікальністю, слабкою формалізуемістю, багатокритеріальністю у сенсі вибору рішень, невизначеністю, що викликано неповнотою або відсутністю знань про природу даного процесу, обмеженою можливістю математичного опису й обчислювальної реалізації, складністю у застосуванні технічних засобів виміру або керування, наявністю стохастичного або суб'єктивного (волюнтаристичного) факторів. До них необхідне застосування системного аналізу як найбільш універсального й адекватного сучасним вимогам засобу дослідження. Цей вид аналізу, у свою чергу, полягає у застосуванні методологічних, математичних і організаційних засобів, призначених для виявлення внутрішніх і зовнішніх взаємозв'язків і взаємодій між процесами–об'єктами як елементами системи одно- або багатотипних і природних за походженням, протіканням і засобам опису, оцінюванню параметрів, моделюванню і, як наслідок, прогнозуванню або науковому передбаченню. Це дає можливість особі, що приймає рішення, одержати максимально повну, достовірну і, головне, своєчасну інформацію про можливий або неминучий негативний вплив небезпечних процесів на екосередовище [10].

Системний характер досліджень обумовлений самою природою подібних процесів, як це можна побачити на прикладі розвитку каскадної взаємодії стихійних явищ (рис. 1). Усі елементи взаємозалежні, і виникнення одного з таких явищ веде до ймовірнісної екологічно руйнуючої ланцюгової реакції. Існуючі напрямки у дослідженні аж до сьогодення розділялися за типами об'єктів і предметною областю, що ускладнювало розуміння сутності впливу і взаємовпливів процесів і наслідки, що їх породжують [9, 11]. Це також ускладнювало формування системи інформаційного забез-

печення керування і контролю екологічної обстановки та інформаційної системи моніторингу, системного аналізу і прогнозування екологічно небезпечних процесів, структури яких будуть розглянуті далі.

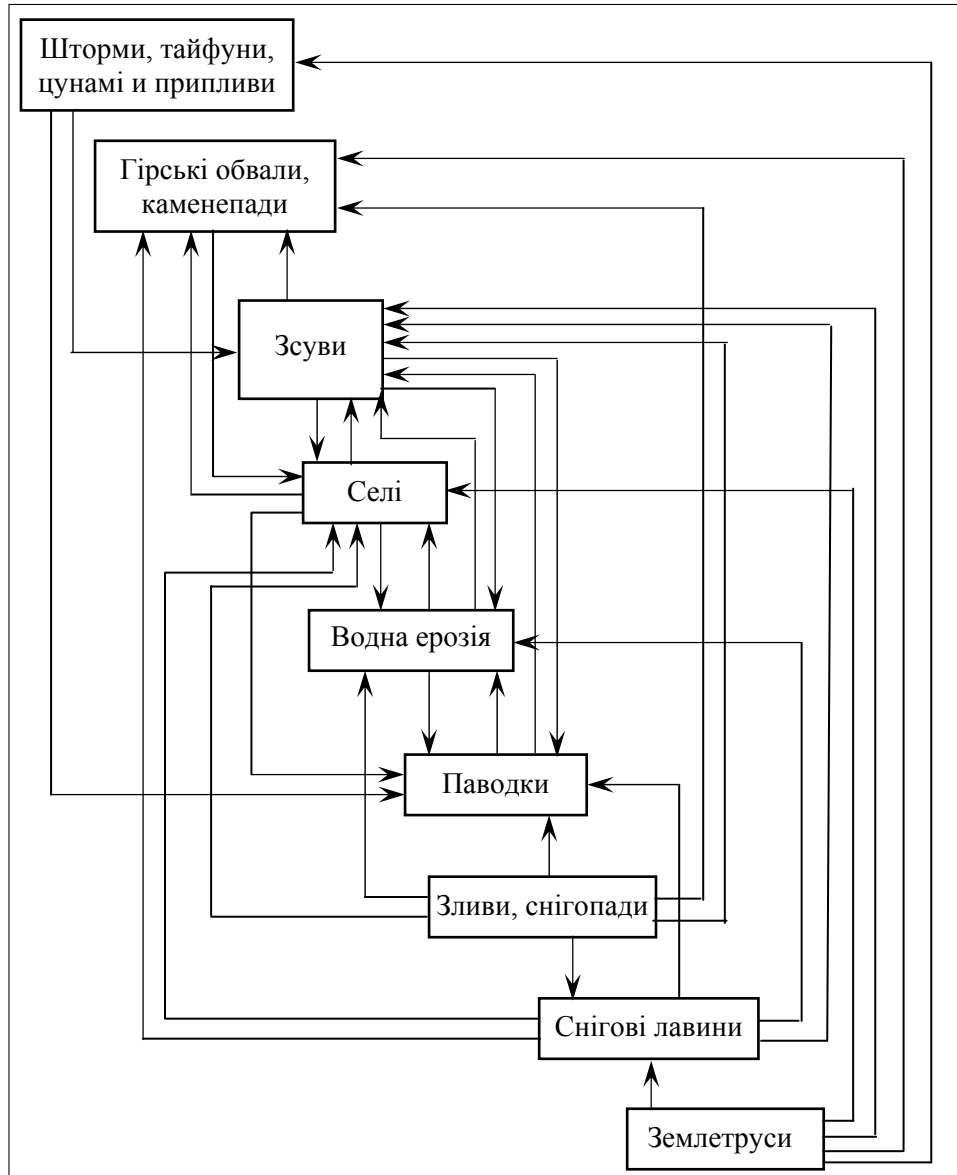


Рис. 1. Приклад розвитку каскадної взаємодії стихійних явищ

Але спочатку проведемо аналіз процесів найбільш істотних, стійких, які періодично відбуваються і впливають на людську життєдіяльність. Зазначимо, що такі періоди можуть бути неоднаковими, заздалегідь невідомими.

Зараз ще не існує загальної, усіма визнаної класифікації зазначених процесів [12], тому у рамках даної роботи пропонується прийняти схему, показану на рис. 2. Розглянемо дві основні групи процесів за генезисом або природою походження.

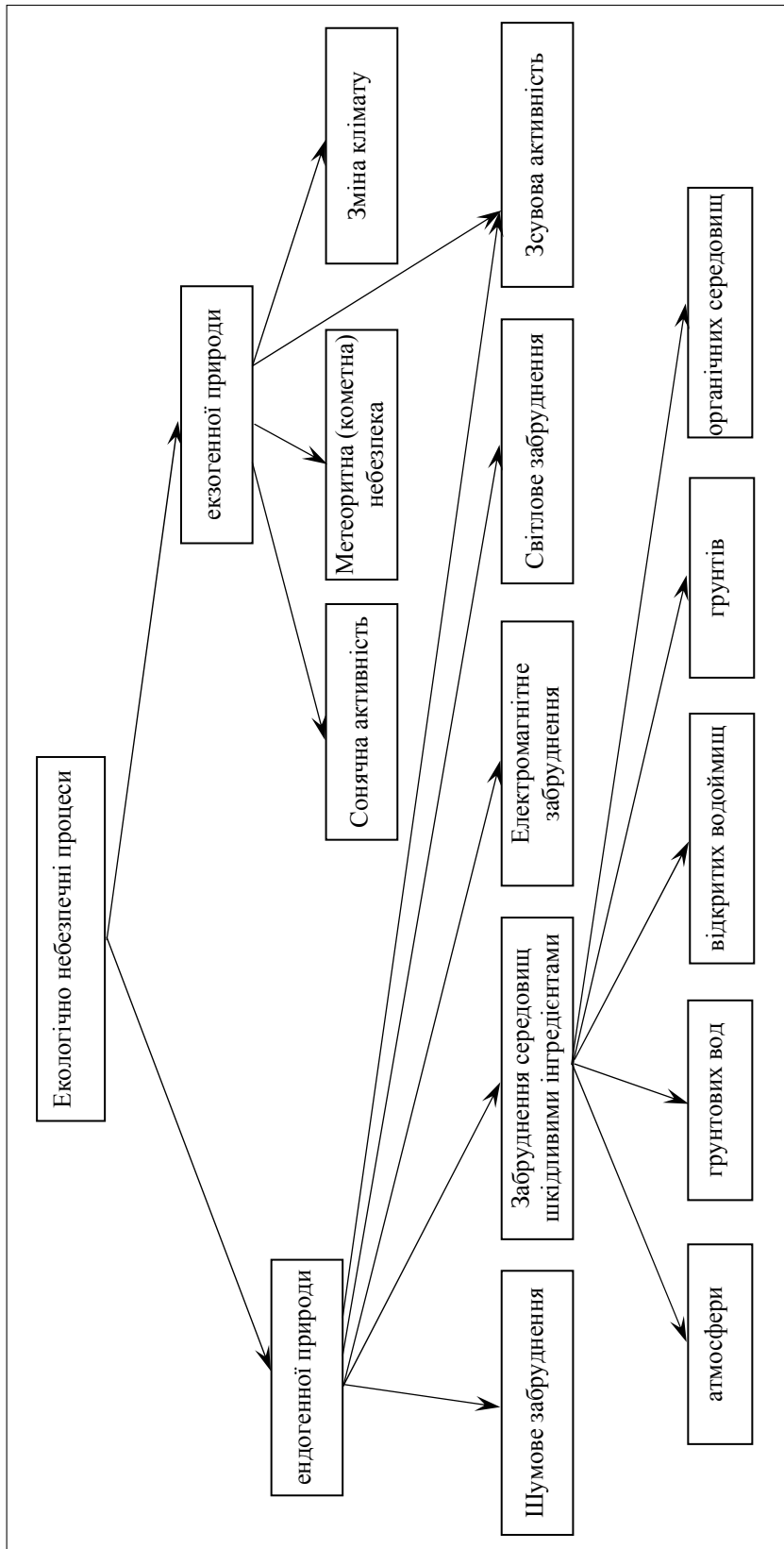


Рис. 2. Класифікація екологічно небезпечних процесів

1. Ендогенні (антропогенні), викликані господарською діяльністю людини (забруднення шкідливими органічними і неорганічними речовинами усіх видів середовищ проживання: атмосфери, відкритих водоймищ і водонасичених підземних шарів, ґрунту, органічних середовищ; шумове й електромагнітне забруднення повітряного середовища; світлове забруднення; підтоплення ґрунтів і схилів; зменшення озонового шару і створення умов для «парникового ефекту»). Вони можуть бути керованими й у певних випадках здемпфированими або навіть відверненими.

2. Екзогенні, що є проявом космічних і внутрішніх геологічних процесів і змін (цикли сонячної активності, урагани, тайфуни, мусони, вулканічна діяльність, глобальне потеплення як результат прецесійного циклу і, нарешті, метеоритна небезпека). Вони мають суто об'єктивний характер, не піддаються керуванню, але можуть спостерігатися, прогнозуватися, передбачатися й, отже, є можливість розробити комплекси заходів для мінімізації збитку або використання наслідків.

З перерахованого вище стає зрозуміла різноприродність і різнотипність екологічно небезпечних процесів.

Дамо коротку характеристику кожному з видів процесів, докладно зупинившись на трьох найбільш розповсюджених: забруднення атмосфери, ґрунтових вод і зсувні процеси хитливих схилів.

Світлове забруднення (рис. 3) — новий напрямок екологічних досліджень, особливість урбанізованих районів високорозвинених країн. Його суть полягає в тім, що під впливом і як наслідок штучного висвітлення, особливо інтенсивного, рослини перестають виділяти кисень, частіше хворіють і менше живуть. Ця проблема вже стала актуальною в Західній Європі, східній частині США і Японії.

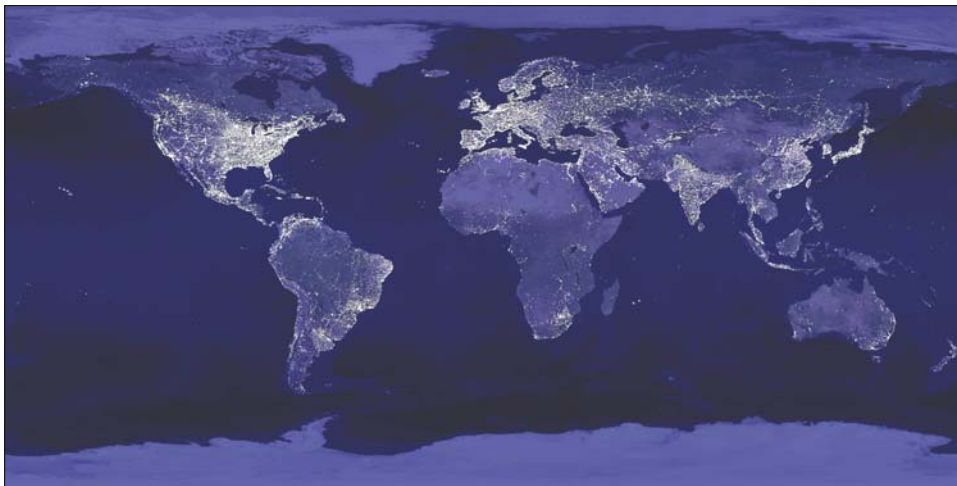


Рис. 3. Масштаби світлового забруднення поверхні Землі (вид з Космосу)

Сонячна активність (рис. 4) — особливий вид екзогенного впливу на геологічні і біохімічні процеси, які відбуваються на Землі. Індекс для характеристики сонячної активності, так звані числа Вольфа, відносне цюріхське число сонячних плям розраховується за формулою

$$R = k(f + 10g),$$

де  $R$  — число Вольфа;  $f$  — загальне число плям на видимій півсфері Сонця;  $g$  — число груп плям;  $k$  — коефіцієнт ( $<1$ ), що враховує сумарний внесок умов спостережень, тип телескопа, і те, що приводить величини, які спостерігаються, до стандартних цюрихським чисел. Лідером досліджень у даному напрямку є Центр аналізу даних впливу сонячної активності при Бельгійській королівській обсерваторії. Футурологи початку 20 ст. зв'язували загострення соціально-економічних процесів із середньозваженими 11-літніми періодами (циклами) сонячної активності. (На основі даних спостережень за останні 304 роки довжина циклу в дійсності змінюється від 8,5 до 14 років між сусідніми мінімумами і від 7,3 до 17 років між сусідніми максимумами.) Тепер майже доведено, на що вперше звернула увагу Е.П. Ємельянова [13] — на зв'язок між сонячними циклами і посиленням зсувних процесів хитливих схилів. Особливо негативний вплив виявляється в області дії нових технологій, приладів високочастотної дії, таких як мобільний зв'язок, штучні супутники землі (а також зв'язані з цим проблеми навігаційної безпеки) і т.п. Сонячна радіація є джерелом рухів у системі атмосфера–океан, а сила, що породжується нею, плавучості — джерелом руху в самій атмосфері [14]. Цим обумовлена природа ураганів, смерчів, тайфунів, цунамі та інших руйнівних процесів.

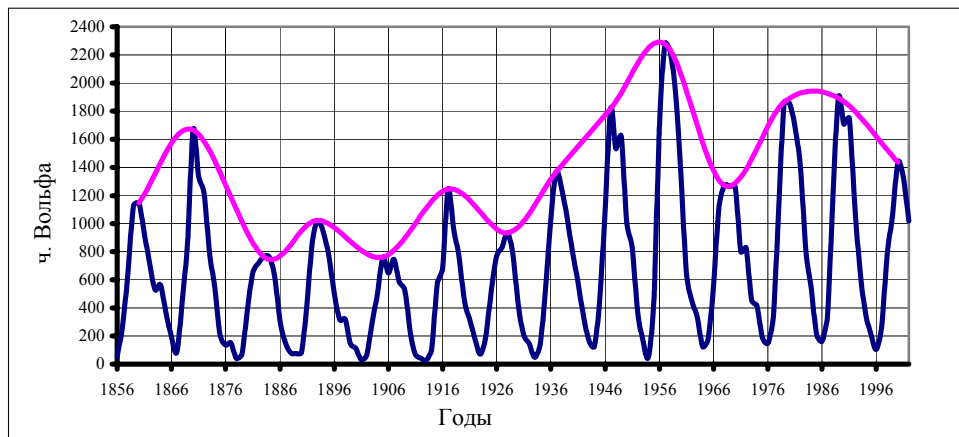


Рис. 4. Циклічна динаміка сонячної активності (за даними <http://sidc.oma.be>)

Зміна клімату [15, 16] в результаті глобального потеплення є не тільки результатом підвищення концентрації в атмосфері парникових газів (особливо вуглекислечу), але й чергового циклу прецесійного обертання Землі, тобто має екзогенну причину і найближчим часом буде підсилюватися. Хоча за твердженням Д. Шельнхубера, льодовиковий панцир західної Антарктиди і Гренландії, пустеля Сахара, джунглі Амазонії, система азіатських мусонів, Гольфстрім і ще шість «ахіллесових п'ят» Землі впливають на клімат, і у випадку зміни умов хоча б на одній з них екологічна (континентального масштабу) катастрофа неминуча, але ризик можна знизити, зменшивши інтенсивність викидів згаданих вище газів.

Шумове й електромагнітне забруднення, викликане масовим використанням електромагнітних приладів, засобів транспорту і т.п., стали майже нормою сучасного розвинутого суспільства. Цей вид забруднення негативно впливає на будівельні конструкції, зменшуючи їхній термін служби, а най-

частіше руйнуючи. Посиленням шумових потоків можуть викликатися селі, схід сніжних шапок, знову ж, зсуви. Прямий негативний вплив виявляється на флору, фауну і, звичайно ж, на людину. Різного виду психози, неврози, синдроми центральної і периферійної нервової системи є прямим наслідком впливу цього виду забруднення на людський організм.

Забрудненню атмосфери шкідливими газоподібними домішками й іншими процесами, які в ній розвиваються, присвячено більше половини усіх публікацій з розглянутого питання. Вплив цього виду забруднення розповсюджується на всі підекосистеми [17]. Через механізм подиху, шкірного в тому числі, і далі по харчових ланцюгах забрудненню піддається вся жива органіка і, насамперед, тіло людини. За допомогою вимивання дощами, особливо кислотними, вологого і сухого осадження, забруднюється ґрунт і відкриті водоймища, а через них ґрунтові води. (В інституті прикладного системного аналізу у Відні наприкінці 90-х років минулого сторіччя розроблено програмний комплекс RAINS для прогнозування й оцінки стану процесів, пов'язаних із кислотними дощами у масштабах континентальних промислових регіонів: Європа, Південно-Східна Азія.) Випари, вивітрювання, навпаки, створюють приземний атмосферний шар вторинному забрудненню.

Початком досліджень у цій області екології, виявлення закономірностей поширення атмосферних домішок і особливостей їх просторово-тимчасового розподілу можна вважати роботи Л. Річардсона [18] і їхній розвиток закордонними і радянськими школами вчених Ж. Сайнфелда [19], М.Е. Берлянда [20] і Г.І. Марчука [21].

Сам об'єкт — атмосфера — має низку унікальних особливостей, серед яких можна виділити ламінарні конвективні течії — причину так званих трансграничних переносів; ефект інверсії — відображення домішки, яка піднімається за рахунок власного тепла від горизонтального ламінарного шару; тепловий острів із круговим дрейфом [22], утримуваний конвективним вихром; наявність сонячної радіації, що викликає фотохімічні реакції; жорсткість підстилаючої поверхні, найчастіше з досить складною геометрією, а також розходження типів джерел забруднювача — крапкових (типу заводська труба), лінійних (автострада), майданних (пожежі, випари), об'ємних (хімічні реакції); стаціонарних і змінних за місцем; зі стійкими і дрейфуючими або пульсуючими границями [20]. Основною задачею цієї області, яка має прикладне значення, є задача одержання прогнозу (оперативного — до 4 годин, короткострокового — до 1–2 діб, довгострокового — до 1–2 тижнів і перспективного — до декількох місяців) забруднення повітря в розглянутому регіоні масштабу від декількох квадратних кілометрів до 10000 і більше. Наявність такого прогнозу дозволяє вживати заходів по запобіганню небезпечних наслідків забруднення або мінімізації збитків від нього [23].

Одна з найважливіших недосліджених задач полягає у побудові математичних моделей поширення із урахуванням ефекту хімічних трансформацій первинної домішки або домішок у вторинне забруднення, котре, у свою чергу, в масі речовини (що викидається) контрольованого джерела (крапкового або лінійного) відсутнє. Використання математичного моделювання для розв'язання задач прогнозу дозволяє зменшити рівень концентрації шкідливих домішок, а також вирішити низку супутніх задач: раціональне роз-

міщення промислових підприємств і режимів їхньої роботи (за змістом викидів); оптимальне розміщення стаціонарних і оптимізація маршруту рухливих станцій контролю стану атмосфери задля максимізації достовірної інформації спостережень і мінімізації витрат на їх отримання.

Усі моделі, які використовуються для опису процесів поширення газоподібних домішок по їхньому полю концентрацій, поділяються на дві основні групи: перша заснована на використанні рівнянь газодинаміки і математичному описові процесу за допомогою рівнянь турбулентної дифузії і масопереносу [24]; друга — переважно на емпірико-статистичному аналізі даних процесу поширення і на використанні для цієї мети інтерполяційних моделей [25]. Моделі першої групи застосовувалися для короткострокових прогнозів на невеликих площах, другої — для довгострокового прогнозування з розрахунком на стаціонарність процесу поширення й у великих просторових масштабах.

Останнім часом у зв'язку з різким якісним стрибком в області розвитку обчислювальної техніки одержав поширення підхід, заснований на використанні першої групи моделей. Для чисельного рішення рівнянь атмосферної дифузії і масопереносу використовуються різні методи [24, 26–28]. Найпоширеніший метод дискретизації — метод кінцевих різниць [27, 28]. Він дуже ефективний із застосуванням нерівномірних сіток, а рішення отриманих систем лінійних рівнянь великої розмірності вже не є нездоланною проблемою.

При математичному моделюванні необхідно явно задати низку параметрів, одні з яких відомі: вид підстиляючої поверхні; потужності викидів; інші обмірювані показники (швидкість і напрямок вітру, фонове значення концентрації речовини, що поширюється); другі можуть бути обчислені по непрямим значенням інших показників: просторово розподіленого параметра турбулентної дифузії і дисипації (зникнення домішки за рахунок розпаду, вимивання, реакції з підстиляючою поверхнею). Величини третьої групи неможливо експериментально виміряти, так, наприклад, турбулентна дифузія — це математичне осереднення реального турбулентного руху. Для обчислення цих параметрів формулюють задачу параметричної ідентифікації за даними виміру функції стану як задачу оптимізації деякого критерію близькості модельних і вимірюваних значень за рахунок варіювання коефіцієнтів моделі. Глибоке вивчення теорії ідентифікації таких процесів є в роботах П. Ейкхоффа [29], М.З. Згуровського [26] та інших дослідників.

Забрудненню органічних середовищ як наслідкові забруднення атмосфери, води і ґрунту у не лікарському аспекті присвячено небагато робіт [30]. З медичної точки зору, перенесення маси через поверхню розділу між різними середовищами (навколишнє середовище й організм людини) має велике значення. Диференціальні рівняння, що описують такі процеси перенесення маси, можна одержати у загальній формі за допомогою операцій, розроблених термодинамікою необоротних процесів. Іноді хімічні реакції сполучаються з процесом перенесення маси речовини. На першому етапі такі реакції розглядати не будемо. Будемо думати, що шкіра, на якій досліджується процес перенесення маси речовини, являє собою поверхню розділу між твердими і рідкими речовинами. Атоми і молекули мають масу як одну



з основних динамічних характеристик своєї поведінки. Дослідження броунівського руху, дифузії, змочування й інших процесів у речовині приводить до висновку, що існують рухи і взаємодії атомів і молекул. Атоми і молекули речовини знаходяться у безперервному хаотичному русі, між ними існують порожнечі і діють сили притягання і відштовхування. Але відомо, що загальні властивості руху і взаємодії вивчаються і описуються законами фізики та механіки. Якщо атоми і молекули можна, у принципі, моделювати матеріальними точками, то можна також скористатися механічним підходом до вивчення їхньої поведінки. Опис природи взаємодій часток тоді можливо було б укласти у рамки досліджень динаміки або статистики. Такий підхід до вивчення поведінки атомів і молекул теоретично можливий, однак для його реалізації потрібно розв'язувати задачі трансобчислювальної складності.

З наведеного огляду літератури варто виділити два основних напрямки і, відповідно, два методологічних підходи до математичного моделювання динаміки екологічно небезпечних процесів різнотипної природи — напрямки, що складається із динаміко-чисельних підходів, які базуються на чисельних методах розв'язання різних видів диференціальних рівнянь, що описують фундаментальні фізичні залежності, а також атмосферних і гідродинамічних процесів. Вони орієнтовані на рішення таких основних задач найважливіших динамічних просторово-часових закономірностей поточних природних процесів:

- виявлення поточних просторово-часових взаємозв'язків між різними атмосферними процесами в динаміці спостережень;
- формування моделей природних процесів для прогнозування динаміки їхнього розвитку.

Другий напрямок, що містить емпіричні динаміко-статистичні підходи, які базуються на використанні багаторічних статистичних даних натурних вимірів, має міжнародна система аналізу і прогнозу складників екологічної системи. Вони орієнтовані на виявлення фундаментальних просторово-часових закономірностей, характерних для атмосферних процесів протягом десятиліть. Основною метою цих підходів є, власне кажучи, установлення на основі багаторічних статистичних даних глибоких просторово-часових кореляційних зв'язків між різними природними процесами.

У залежності від цілей дослідження побудову математичного апарату аналізу динаміки екологічно небезпечних процесів доцільно виконувати на основі ідей як динаміко-чисельних, так і динаміко-статистичних підходів, але з урахуванням специфічних особливостей і властивостей цих процесів.

Таким чином, проведений короткий аналіз дозволяє зробити висновок, що екологічно небезпечні процеси відрізняються складними взаємозв'язками, взаємозалежностями, взаємодіями різноманітних факторів і причин. Вони мають такі характерні властивості й особливості:

- різноманітність і різнотипність причин і факторів, а також дії, які приводять до їхнього виникнення;
- просторова розподіленість умов виникнення, невизначеність у часі і просторі динаміки розвитку і регіонів їхнього впливу на екосередовище;

- нестационарність властивостей і невизначеність їхніх характеристик.

Дані властивості й особливості визначають практичну необхідність дослідження всього різноманіття властивостей, взаємозв'язків, взаємодій, взаємозалежностей різнорідних факторів і причин екологічно небезпечних процесів на основі єдиного системного підходу з позиції досягнення єдиної визначальної мети керування і контролю екологічної обстановки — своєчасного запобігання і (або) мінімізації небажаних наслідків їхньої дії. Разом з тим, аналіз показує, що в даний час різні види природних і техногенних екологічних процесів, їх причини, протікання, наслідки й область дії досліджуються окремо, без урахування взаємозв'язків, взаємозалежностей, взаємодії. При такому підході не беруться до уваги деякі найважливіші фактори, які впливають на процеси, що відбуваються, рівень їхнього небажаного впливу, можливість і результативність його запобігання.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Марчук Г.И., Кондратьев К.Я. Проблемы глобальной экологии. — М.: Наука, 1992. — 264 с.
2. Фундаментальные экологические проблемы в разработках РАН / Под ред. Т.Г. Пархалика. — М.: Наука, 1995. — 96 с.
3. Кудрявцев А. 100 великих катастроф XX века. — М.: Мартин, 2000. — 463 с.
4. Экологические проблемы современного общества / Под ред. Л.Д. Капранова. — М.: ИНИОН РАН, 2001. — 98 с.
5. Дуганов Г.В. Охрана окружающей среды. — Киев: Вища шк., 1988. — 304 с.
6. Гринин А.С., Орехов Н.А., Новиков В.Н. Математическое моделирование в экологии. — М.: Юнити-Дана, 2003. — 270 с.
7. Крапивин В.Ф., Свирежнев Ю.М., Тарко А.М. Математическое моделирование глобальных биосферных процессов. — М.: Наука, 1982. — 272 с.
8. Моисеев Н.Н. Человек, Среда, Общество. — М.: Наука, 1982. — 240 с.
9. Системный анализ в исследовании сложных физических процессов и полей / М.З. Згуровский, А.М. Демченко, А.Н. Новиков, И.И. Коваленко / Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова АН Украины. — Препр. — Киев, 1993. — 37 с.
10. Кравченко В.П. Определение решений при произвольном числе их сопряжений для систем обыкновенных дифференциальных уравнений // Докл. АН УССР. — 1972. — № 6. — С.512–514.
11. Моисеев Н.Н., Александров В.В., Тарко А.М. Человек и биосфера. Опыт системного анализа и эксперименты с моделями. — М.: Наука, 1985. — 272 с.
12. Экологический энциклопедический словарь. — М.: Ноосфера, 1999. — 931 с.
13. Емельянова Е.П. Основные закономерности оползневых процессов. — М.: Недра, 1972. — 202 с.
14. Гилл А. Динамика атмосферы и океана. — М.: Мир, 1986. — Т. 2. — 415 с.
15. Тимченко И.Е. Динамико-стохастические модели мирового океана. — Киев: Наук. думка, 1981. — 192 с.
16. Численное моделирование климата мирового океана / Под ред. Г.И. Марчука. — М.: Отдел выч. матем. АН СССР, 1986. — 208 с.
17. Примак А.В., Кафаров В.В., Качиашвили К.И. Системный анализ контроля и управления качеством воздуха и воды. — Киев: Наук. думка, 1991. — 360 с.

18. *Richardson L.* Weather prediction by numerical process. — Cambridge, 1922. — 120 p.
19. *Seinfeld J.H.* Atmospheric chemistry and physics of air pollution. — New York: Wiley, 1986. — 317 p.
20. *Берлянд М.Е.* Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. — Л.: Гидрометеоздат, 1975. — 443 с.
21. *Марчук Г.И.* Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. — М.: Наука, 1982. — 320 с.
22. *Згуровский М.З., Новиков А.Н.* Анализ и управление односторонними физическими процессами. — Киев: Наук. думка, 1996. — 328 с.
23. *Бретинайдер Б., Курфюрст И.* Охрана воздушного бассейна от загрязнений: технология и контроль. — Л.: Химия, 1989. — 288 с.
24. *Андерсон Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р.* Вычислительная гидромеханика и теплообмен. — М.: Мир, 1990. — Т. 1. — 384 с. — Т. 2. — 392 с.
25. *Селін Ю.М.* Застосування структурних підходів до розв'язання задач аналізу та прогнозування поведінки екологічних неперіодичних процесів геологічної природи // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2006. — № 3. — С. 56–62.
26. *Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М.З. Згуровский, В.В. Скопецкий, В.К. Хрущ, Н.Н. Беляев.* — Киев: Наук. думка, 1997. — 368 с.
27. *Самарский А.А., Попов Ю.П.* Разностные методы решения задач газовой динамики. — М.: Наука, 1992. — 424 с.
28. *Фарлоу С.* Уравнения с частными производными. — М.: Мир, 1985. — 383 с.
29. *Эйкхофф П.* Современные методы идентификации систем. — М.: Мир, 1983. — 400 с.
30. *Математическое моделирование процессов диффузии в органических средах / Н.Д. Панкратова, В.В. Заводник, А.В. Козакул, В.П. Кравченко // Системні дослідження та інформаційні технології.* — 2002. — № 4. — С.43–51.

Надійшла 26.03.2007