

Лекція № 5

Прогнозування стану навколишнього середовища

План

1. Основні вихідні поняття прогнозування
2. Класифікація прогнозів та методів прогнозування
3. Особливості довго- та короткострокових прогнозів
4. Приклади базових методик прогнозування стану довкілля

1. Основні вихідні поняття прогнозування

Моделювання стану довкілля тісно пов'язане із прогнозуванням стану його компонент, прогнозуванням антропогенного впливу на ці компоненти та їх здатності чинити опір зростаючому тиску сумпільства та виробництва, зберігати свою структуру та властивості, відновлювати втрачені параметри. В широкому смислі слова – **прогнозування** – це науково обґрунтоване передбачення перспектив розвитку тієї чи іншої системи, а також власне сам процес його отримання. **Екологічним прогнозуванням** називають передбачення стійких змін у навколишньому середовищі, що відбуваються внаслідок складних ланцюгових реакцій, зв'язаних як з безпосереднім впливом людства на довкілля, так і з віддаленими опосередкованими наслідками цих впливів [].

Результатом прогнозування є **прогноз** – сукупність науково передбачених даних (висновків) щодо значень параметрів системи у певні майбутні моменти часу.

Прикладів екологічних прогнозів можна навести дуже багато:

- прогноз розвитку промисловості, сільського господарства, транспорту, електроенергетики світу чи окремих регіонів і змін в екосистемах (в т.ч. і біосфері, як глобальній екосистемі) внаслідок впливу цих факторів;
- прогноз зміни окремих компонентів довкілля (клімату, ґрунтів, поверхневих та підземних вод, біоти, геологічного середовища);
- прогноз використання, скорочення та виснаження певних видів природних ресурсів;
- прогноз зміни структури промислового виробництва та його впливу на довкілля у зв'язку із впровадженням новітніх технологій, безвідходних та маловідходних технологій, замкнених циклів водокористування, утилізації відходів;
- прогноз розвитку глобальних екологічних проблем (“глобального потепління”, “озонових дір”, “кислотних опадів” і т.д.);
- прогноз зміни стану здоров'я населення як реакції на екологічну ситуацію в регіоні тощо.

2. Класифікація прогнозів та методів прогнозування

На сучасному етапі прогнозування стану довкілля виросло в окрему,

досить складну і розгалужену галузь знань. Тому виникла об'єктивна необхідність в класифікації прогнозів. В загальному випадку прогнози можна класифікувати:

1. За метою та задачами передбачення:

- 1) прогноз дії на середовище – науково обґрунтоване передбачення видів, факторів та масштабів антропогенного впливу на навколишнє середовище, що чиниться внаслідок промислового, сільськогосподарського та інших видів виробництва у регіоні;
- 2) прогноз реакції середовища – науково обґрунтоване передбачення стійких змін у природному середовищі, викликаних прямою або побічною дією зазначених вище факторів; будуються ці прогнози шляхом моделювання функцій відклику екосистеми на дію зовнішніх (“стресових”) факторів; даний вид прогнозів є найбільш складним і неоднозначним – досьогодні в екологічній науці точаться дискусії з приводу зворотності чи незворотності таких змін;
- 3) прогноз зміни середовища — науково обґрунтоване передбачення змін природних комплексів та їх компонентів під дією всієї сукупності природно-антропогенних чинників.

залежно від граничного терміну прогнозування:

- 1) короткочасні, або оперативні прогнози (на 1-2 роки);
- 2) прогнози середньої тривалості (на 5-10 років);
- 3) довгострокові прогнози (на 15-25 років);
- 4) понаддовгострокові прогнози (на 50-100 років).

за масштабами передбачуваних явищ:

- 1) глобальні (фізико-географічні або ще їх називають планетарні);
- 2) регіональні (в межах крупних природних регіонів);
- 3) національні (в межах країни);
- 4) локальні (для невеликих територій).

за призначенням:

- 1) наукові прогнози (здійснюються для побудови сценаріїв майбутнього розвитку, є не дуже точними і часто надто гіпотетичним);
- 2) прикладні (розробляються для вирішення конкретних задач, що виникають в економіці або житті суспільства; є відносно точними; в якості приклада можна назвати демографічні або синоптичні прогнози);
- 3) прогнози-застереження (характеризуються найвищим ступенем гіпотетичності, основна їх задача – просвітницька, тобто інформування громадськості про наступаючі гострі проблеми).

У зв'язку із складністю та різноманітністю різних типів та видів прогнозів доцільно їх також поділяти за методом прогнозування. Методів прогнозування існує величезна кількість. Але в загальному випадку усі існуючі методи прогнозування стану природного середовища можна об'єднати у три основні групи:

- евристичні методи експертної оцінки;
- методи екстраполяції (статистичні методи);

- методи математичного моделювання.

Метод експертної оцінки (метод евристичного, або інтуїтивного прогнозування) – так званий *метод Делфі*, іноді в спеціальній літературі ще використовують термін “*метод спільної генерації ідей*”) базується на логічному моделюванні й полягає у вилученні прихованих у людини знань шляхом штучних навідних запитань. Методика розробки прогнозу передбачає спеціалізовану експертну оцінку, що здійснюється висококваліфікованими спеціалістами-експертами у певній вузькій галузі знань, та математичну обробку анкет із їх оцінками та висновками.

Застосовується, як правило, тоді, коли об'єкти прогнозування не підлягають повній або частковій формалізації. Недоліком цього методу прогнозу є високий рівень суб'єктивності висновків. Суб'єктивність проявляється у тому, що у різних груп експертів однакової кваліфікації результати прогнозу можуть суттєво відрізнитись.

Метод екстраполяції полягає у перенесенні результатів досліджень, отриманих у певній галузі діяльності на аналогічні галузі (метод аналогій) або перенесенні ретроспективно ортиманої інформації про попередній розвиток об'єкта на його наступний розвиток (метод ретроспективного аналізу і прогнозу).

Недоліком даного методу є обмеженість його філософсько-методологічної основи. А саме: метод ґрунтується на постулатах формальної логіки, коли кожна наступна подія детермінується попередньою, тобто ніби чіпляється за попередню. Як свідчать результати екологічних досліджень динаміку в часі будь-якої складної екосистеми представляється у вигляді зміни станів. Так, наприклад, А.М. Трофімов і М.В. Панасюк (1984) висунули геоситуаційну концепцію, суть якої полягає в тому, що природні косплекси еволюціонують від однієї “ситуації” до іншої. Окрім того, слід згадати, що в розвитку екосистем досить часто мають місце біфуркації, з допомогою яких в системному аналізі обґрунтовується непередбачуваність результатів будь-яких випадкових складних процесів. Типовим явищем у розвитку природних об'єктів є й псевдобіфуркації, тобто ефекти, пов'язані із можливим знаходженням екосистеми в одному із двох (кількох) різних станів при одних і тих же зовнішніх впливах. І це все відбувається на фоні розвитку суспільного виробництва і зростаючого антропогенного навантаження, яке теж далеко не є простим лінійним процесом. Але не дивлячись на ці недоліки методи екстраполяції застосовуються доволі широко завдяки своїй простоті і очевидності.

Різновидами методу екстраполяції є статистичні методи оцінки наступних значень варіаційного ряду, виходячи з попереднього характеру кривої. Реалізуються вони шляхом продовження існуючої тенденції на перспективний часовий інтервал. Іноді до екстраполяції відносять також інтерполяцію – тобто пошук проміжних значень варіаційного ряду між відомими її значеннями. Інтерполяція за своїм змістом зводиться до проведення через відомі точки заздалегідь відомих кривих ліній (лінійна, степенева, логарифмічна, експоненціальна, поліноміальна та інші види інтерполяції), а вже на цих лініях для відповідних моментів часу знаходяться конкретні значення досліджуваної ознаки.

Метод екстраполяції застосовують для короткострокових (оперативних) прогнозів, у тому разі, коли розвиток процесів протягом значного проміжку часу відбувається рівномірно, без значних стрибків (флуктуацій і біфуркацій).

Метод математичного моделювання процесів полягає в детальному аналізі причин та тенденцій можливих змін у стані довкілля, побудові часткових математичних моделей стану екосистеми і подальшому переходу до моделі реальної системи. Моделі відображають найсуттєвіші, найважливіші властивості та функції деякого складного процесу чи об'єкта. При прогнозуванні наслідків антропогенних впливів на природне середовище розрізняють **геофізичні** моделі (моделі процесів переносу або перетворення забруднюючих речовин у навколишньому середовищі) та **екологічні** моделі (зміни стану екосистеми, стійкості та потенціалу самоочищення системи тощо). Математичне моделювання оперує інструментами багатьох розділів математики (аналітичної геометрії, диференціальних рівнянь, математичного аналізу, теорії функцій тощо). Спирається даний метод на потужну базу фізичних та хімічних наук. Тому, що для того аби змоделювати стан чи розвиток будь-якої складної системи потрібно чітко уявляти собі суть процесів, які відбуваються в цій системі, з фізичної та хімічної точки зору. Без таких знань будь яка модель чи прогноз виглядають абсурдно.

Згідно з **принципом неповноти інформації (принципом невизначеності)**, всі методи екологічного прогнозування є обмеженими []. Суть цього принципу полягає в тому, що інформація, яка використовується при проведенні акцій з перетворення природи, завжди є недостатньою для апіорного судження про всі можливі наслідки здійснюваного заходу (особливо у віддаленій перспективі). Це пов'язане з винятковою складністю природних систем, їх індивідуальною унікальністю та неминучістю природних ланцюгових реакцій, направленість який часто важко передбачити. Для зменшення ступеня невизначеності моделювання необхідно доповнювати безпосередніми дослідженнями у природі, натурними експериментами і визначенням динаміки процесів. Принцип невизначеності є важливим обмеженням у використанні методу аналогій при екологічному прогнозуванні, оскільки аналогія є неповною через індивідуальність природних систем.

3. Особливості довго- та короткострокових прогнозів

Особливості довгострокового прогнозування. Довгострокове прогнозування, як правило, відбувається на основі застосування статистичних методів. Ці методи дають більш-менш адекватні результати в тому випадку, якщо прогнозування ведеться на досить тривалий період часу (більш як 20 років), а інтервал часу збору інформації достатньо перевищує граничний термін прогнозу.

Особливості оперативного прогнозування. На відміну від довгострокового, оперативне (короткострокове) прогнозування ведуть на основі побудови динамічних формалізованих математичних моделей, що враховують внутрішню структуру і закони взаємодії компонентів системи.

Такий прогноз виявляється ефективним, оскільки більшість природних і соціально-економічних факторів не встигають істотно змінитися за період, на який складається оперативний прогноз, а вплив неврахованих факторів не встигає істотно збільшити невизначеність прогнозу.

4. Приклади базових методик прогнозування стану довкілля

Методика довгострокового прогнозування забруднення водного об'єкта (за [1]). Період часу, охоплений ретроспективною статистичною базою даних, і період, на який складається прогноз, поділяється на інтервали $t_n \dots t_{n+1}$ ($n = 1; 2; 3 \dots$) однакової тривалості $\Delta t = t_{n+1} - t_n$. Потім за результатами обробки статистичних даних визначається максимальне значення антропогенної складової іонного стоку $R_i(n)$ на кожному з таких інтервалів на момент складання прогнозу t . Прогноз на наступні моменти часу t ($n > N$) складається за формулою:

$$R_i(n) = [R_i(n-1)]^2 / R_i(n-2) \quad (1)$$

Такий метод прогнозу ґрунтується на гіпотезі сталості темпів інтенсифікації забруднення, за яких $R_i(n)$ змінюється з ростом n в геометричній прогресії. Тому такий прогноз буде реалістичним тільки при тривалому збереженні темпів розвитку екологічного процесу. У протилежному випадку (наприклад, в умовах кризи) дані такого прогнозу можуть виявитися помилковими. У такому разі слід збільшити період прогнозування й інтервал Δt прогнозування або ж зробити його таким, що дорівнює періоду коливань темпів розвитку господарської діяльності в регіоні.

Регресійна модель поширення забруднення (за [2]). Дана модель використовується для встановлення просторових та часових характеристик поширення забруднень по території, що оточує джерело забруднення. Суть методу полягає у тому, що істинна залежність концентрації забруднення від часу і координат апроксимується деяким поліномом, що залежить від часу (t) і відстані (x) уздовж напрямку поширення забруднення. Період спостереження і контрольована ділянка простору розбиваються на однакові інтервали Δt і Δx , а середню концентрацію забруднювача на кожному з таких інтервалів нормують шляхом ділення на певне значення концентрації C_0 (наприклад, на величину ГДК або ж на значення концентрації в початковий момент на початковій ділянці контрольної території). Поліном, за допомогою якого складають регресію, має наступний вигляд:

$$u(i, k) = a_0 - a_1 u(i, k-2) - a_2 u(i+1, k-1) - a_3 u(i, k-1) + a_4 u_2(i, k-1), \quad (2)$$

де $u(i, k) = C(i\Delta x, k\Delta t) / C_0$ — відносна (нормована на C_0) концентрація забруднювача. Коефіцієнти a_j ($j = 0; 1; \dots 4$) у цьому поліномі підбирають емпіричним шляхом за результатами регресійного аналізу даних хімічного

дослідження проб.