

Міністерство освіти і науки України
Міністерство охорони навколишнього природного середовища України
Всеукраїнська екологічна ліга
Державний екологічний інститут Мінприроди України
Гуманітарно-технічний інститут
ДКП „Харківкомуночиствод”

**О.І. Бондар, І.В. Корінько,
В.М. Ткач, О.І. Федоренко**

МОНІТОРИНГ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Рекомендовано Науково-методичним Центром
вищої освіти МОНУ як навчальний посібник
для студентів і викладачів ВНЗ усіх форм навчання
та підвищення кваліфікації із спеціальності
"Екологія та охорона навколишнього середовища".

Під редакцією проф., докт. фіз.-мат. наук,
академіка АН Вищої школи України О.І. Федоренко

Київ-Харків - 2005

Укладачі: О.І. Бондар, І.В. Корінько, В.М. Ткач, О.І. Федоренко. Моніторинг навколишнього середовища. Навчальний посібник. – К.-Х., ДЕІ-ГТІ, 2005. – 126 с.

Рецензенти: проф., заст. генерального директора УкрННТІЗ Г.Г. Стрижельчик; перший заст. начальника Державного управління екології та природи ресурсів в Харківській області В.В. Задніпровський.

Під редакцією проф., докт. фіз.-мат. наук, акад. АН Вищої школи України О.І. Федоренко

Друкується за рішенням:
Вченої Ради Державного екологічного інституту Мінприроди України
Протокол № 3 від 20 квітня 2005 р.;
Вченої Ради Гуманітарно-технічного інституту
Протокол № 2 від 2 березня 2005 р.;
Наукової Ради Харківської обласної організації
Всеукраїнської екологічної ліги
Протокол № 3 від 28 квітня 2005 р.

Рекомендовано Науково-методичним Центром вищої освіти МОНУ як навчальний посібник для студентів і викладачів ВНЗ усіх форм навчання та підвищення кваліфікації із спеціальності "Екологія та охорона навколишнього середовища".

Розглянуті основні поняття моніторингу навколишнього середовища. Зроблена класифікація видів і типів моніторингу. Розглянуті джерела біологічного, хімічного, фізичного (в тому числі радіаційного) забруднення і методи моніторингу цих видів забруднень. Наведені приклади моніторингу стану різних геосфер нашої планети.

Е 0201000000 – 30
2005

ББК 20.1+68.9

© Бондар О.І., Корінько І.В., Ткач В.М.,
Федоренко О.І., 2005
© ДЕІ Мінприроди, 2005
© ГТІ, 2005
© ДКП „Харківкомуночиствод”, 2005.

ISBN 966-8430-53-0

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
МОДУЛЬ 1. КОНЦЕПЦІЯ МОНІТОРИНГУ АНТРОПОГЕННИХ ЗМІН...	5
Тема 1.1. Визначення. Основні задачі і схема моніторингу	5
Тема 1.2. Спостереження за зміною стану біосфери, джерелами і факторами антропогенних впливів	12
Тема 1.3. Оцінка і прогноз антропогенних змін стану біосфери.....	15
Тема 1.4. Імовірнісні підходи до оцінки ризику при можливій небезпеці для елементів біосфери і людини.....	21
Тема 1.5. Обґрунтування і класифікація моніторингу антропогенних змін стану природного середовища	29
МОДУЛЬ 2. ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ	40
Тема 2.1. Екологічний моніторинг - комплексний моніторинг біосфери	40
Тема 2.2. Екологічний моніторинг на різних рівнях впливу	45
Тема 2.3. Екологічний моніторинг на суші (на базі біосферних заповідників).....	54
Тема 2.4. Екологічний моніторинг океану.....	62
Тема 2.5. Використання супутникових систем в екологічному моніторингу.....	66
МОДУЛЬ 3. КЛІМАТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ	74
Тема 3.1. Основні задачі	74
Тема 3.2. Одержання основних кліматичних даних і інформації, що необхідна для аналізу мінливості клімату	77
Тема 3.3. Пріоритетність і точність вимірів	84
Тема 3.4. Супутниковий кліматичний моніторинг	87
МОДУЛЬ 4. РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ І КОНТРОЛЮ СТАНУ ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА	91
Тема 4.1. Вивчення і контроль стану природного середовища в рамках основних задач глобальної системи моніторингу навколишнього середовища ..	91
Тема 4.2. Аналіз існуючої обстановки в Україні і в різних країнах	102
Тема 4.3. Система контролю стану і забруднення природного середовища в Україні і в різних країнах	107
ЛІТЕРАТУРА	122

ВСТУП

В умовах зростаючого антропогенного впливу на природу існуючий екологічний резерв біосфери повинен використовуватися дуже раціонально, з урахуванням режимів регулювання стану природного середовища, що забезпечує збереження високої якості біосфери і здатність природи до відновлення. Необхідно розробити надійні засоби охорони природного середовища від надмірних навантажень і профілактики елементів біосфери від згубного впливу.

У такій ситуації особливо важлива: об'єктивна інформація про критичні фактори антропогенного впливу, про фактичний стан біосфери і прогнози її майбутнього стану.

У зв'язку з цим виникла необхідність організації систем моніторингу, тобто систем спостереження, контролю і оцінки стану природного середовища, як у місцях інтенсивного антропогенного впливу, так і в глобальному масштабі.

Моніторинг охоплює спостереження за джерелами і факторами антропогенних впливів: хімічними, фізичними і біологічними і за ефектами, що виникають у навколишньому середовищі при таких впливах, і насамперед, за реакцією біоти на ці впливи.

У процесі екологічного моніторингу важливо мати дані, як про абіотичну складову середовища, так і про стан біоти, про функціонування екосистеми і їхніх реакціях на антропогенний вплив.

У відповідності зі стандартом вищої освіти освітньо-професійною програмою спеціальності 7.070801 "Екологія та охорона навколишнього середовища" студенти денної і заочної форм навчання вивчають дисципліну "Моніторинг навколишнього середовища".

Метою дисципліни є формування знань, умінь і навичок по типах і методам моніторингу навколишнього середовища, його сучасної організації та екологічної ролі, екологічному і кліматичному моніторингу, моніторингам біоценозів і ґрунтовому, а також чітке розуміння причин і механізмів зміни стану навколишнього середовища під впливом людини.

Задачі дисципліни наступні:

1. Сформулювати концепцію моніторингу антропогенних змін.
2. Знати типи і методи моніторингу стану біосфери, джерела, фактори антропогенного впливу.
3. Знати класифікацію моніторингу антропогенних змін стану природного середовища.
4. На базі знання реального стану навколишнього середовища, уміти знаходити причини і механізми дії забруднюючих речовин на всі живі організми, включаючи людину.
5. Уміти проводити вимір фізичних, хімічних і біологічних змін біосфери.
6. Уміти користуватися даними будь-якого типу моніторингу при проведенні екологічних оцінок, експертизи і паспортизації територій і об'єктів.
7. Уміти прогнозувати екологічні ситуації на основі даних моніторингу.

Вивчення дисципліни базується на знаннях, отриманих при проходженні таких фундаментальних курсів, як фізика, хімія, біологія, геологія, гідрологія, ґрунтознавство, метеорологія, основи загальної екології та ін.

МОДУЛЬ 1. КОНЦЕПЦІЯ МОНІТОРИНГУ АНТРОПОГЕННИХ ЗМІН

Тема 1.1. Визначення. Основні задачі і схема моніторингу

Інформація про стан навколишньої природного середовища, про зміни цього стану використовується людиною давно. Понад сто останніх років спостереження ведуться регулярно – досить нагадати про метеорологічні, фенологічні і деякі інші спостереження.

З розвитком техніки, коли у людини з'явилася можливість впливати на природу, перетворювати її, повніше використовувати природні ресурси, інформація про стан довкілля стає для неї більш важливою, необхідною. За допомогою такої інформації можна визначати оптимальні природні умови для здійснення різних заходів, передбачати як сприятливі, так і несприятливі фактори для ведення господарства, уживати заходів для зменшення впливу несприятливих умов на життя і діяльність людей. До складу такої інформації входять дані спостережень за фактичним станом навколишнього середовища, прогнози зміни природних умов.

Відомо, що тривалий час спостереження велись лише за змінами стану природного середовища, обумовленими природними причинами.

За останні десятиріччя в усьому світі різко зріс вплив людини на навколишнє середовище. Стало очевидно, що безконтрольна експлуатація природи може привести до серйозних негативних наслідків. У зв'язку з цим виникла велика необхідність отримання детальної інформації про стан біосфери.

Відомо, що стан біосфери змінюється під впливом природних і антропогенних чинників. Однак є істотне розходження в результатах таких впливів: стан біосфери, що безупинно міняється під впливом природних причин, як правило, має тенденцію до самовідновлення. Зміни температури і тиску, вологості повітря і ґрунту, коливання яких в основному відбуваються біля деяких відносно постійних середніх значень, сезонні зміни біомаси рослинності і тварин – усе це приклади таких природних змін. Середні величини, що характеризують стан біосфери (її кліматичні характеристики у будь-якому районі земної кулі, природний склад різних середовищ, кругообіг води, вуглецю та інших речовин, глобальна біологічна продуктивність) істотно змінюються лише протягом дуже тривалого часу (тисяч, іноді навіть сотень тисяч і мільйонів років). Великі рівноважні екологічні системи, геосистеми під впливом природних процесів міняються також надзвичайно повільно. Ці поступові еволюційні зміни відбуваються тільки за проміжки часу, що вимірюються геологічними епохами.

На відміну від змін стану біосфери, викликаних природними причинами, її зміни під впливом антропогенних факторів можуть відбуватися дуже швидко; так, зміни, що відбувалися з цих причин у деяких елементах біосфери за останні кілька десятиріч років, можна порівняти з деякими природними змінами, що відбуваються за тисячі і навіть мільйони років.

Природні зміни стану навколишнього природного середовища, як короточасні, так і тривалі, в значній мірі спостерігаються, вивчаються існуючими в багатьох країнах геофізичними службами (гідрометеорологічної, сейсмічної, іоносферної, гравіметричної, магнітометричної й ін.).

Для того щоб виділити антропогенні зміни на фоні природних, виникла необхідність в організації спеціальних спостережень за зміною стану біосфери під впливом людської діяльності.

Систему повторних спостережень одного і більш елементів навколишнього природного середовища в просторі і в часі з визначеними цілями у відповідності із заздалегідь підготовленою програмою було запропоновано називати моніторингом. Термін "моніторинг" з'явився перед проведенням Стокгольмської конференції ООН по навколишньому середовищу (Стокгольм, 5-16 червня 1972 р.).

Сам термін "моніторинг", очевидно, з'явився в протиріччя (чи на додаток) терміну "контроль", у трактування якого включалося не тільки спостереження та одержання інформації, але і елементи активних дій, елементи керування.

Були викладені основні положення і цілі програми Глобальної системи моніторингу навколишнього середовища (ГСМНС), в якій була приділена увага, з одного боку, попередженню про зміни стану природного середовища, пов'язаних із забрудненням, а, з іншого боку – попередженню про погрозу здоров'ю людини, погрозу стихійних лих, а також екологічним проблемам.

Був визначений список пріоритетних забруднювачів для їхнього обліку при організації моніторингу; було вирішено також встановити контроль за параметрами, необхідними для інтерпретації результатів виміру забруднень.

Міжнародне співробітництво щодо організації глобального моніторингу повинне будуватися на основі існуючих національних і міжнародних систем, при цьому максимально повинні використовуватися для координації і здійснення програм моніторингу спеціалізовані агентства Організації Об'єднаних Націй.

Однак ряд цілей, що поставлені перед глобальною системою моніторингу, хоча і відповідають інтересам як розвинутих країн, так і країн, що розвиваються, але вносять деяку неясність у розподіл обов'язків між існуючими системами (наприклад, Всесвітньою службою погоди Всесвітньої метеорологічної організації) і за пропонованою системою моніторингу. Очевидно, у наявності бажання показати як результат необхідної роботи раніше створені системи, що уже функціонують протягом багатьох років замість того, щоб направити зусилля на ліквідацію прогалин, пов'язаних із відсутністю визначених даних про зміну стану природного середовища за рахунок антропогенних впливів в існуючих інформаційних системах. Звичайно, таку

роботу необхідно проводити, спираючись на мережу існуючих геофізичних служб та їх досвід.

Зміст запропонованого терміна "моніторинг" варто було б істотно конкретизувати.

Так у роботі¹ зазначено: "Моніторингом доцільно називати систему спостережень, що дозволяє виділити зміни стану біосфери під впливом людської діяльності".

Більш точно, таку систему варто називати моніторингом антропогенних змін навколишнього природного середовища.

Таким чином, термін "моніторинг" не є лише новим позначенням уже існуючих служб, а відноситься до системи, яка синтезується для виявлення антропогенних ефектів у навколишньому середовищі з використанням інформації і деяких елементів існуючих геофізичних служб.

При розгляді основних цілей, що сформульовані для Глобальної системи моніторингу навколишнього середовища (ГСМНС), саме в аспекті виявлення змін стану навколишнього середовища за рахунок антропогенних впливів, не можна знайти яких-небудь протиріч у судженнях про цілі моніторингу в приведеному вище визначенні. Однак роботи з виявлення і попередження стихійних лих метеорологічного чи гідрологічного характеру проводяться існуючими метеорологічними і гідрологічними службами, а роботи з попередження хвороб – відповідними службами охорони здоров'я і т.д. Звичайно, ці служби повинні удосконалюватися і розвиватися, але навряд чи доцільно поєднувати їх у єдину систему моніторингу.

Слід зазначити, що система моніторингу антропогенних змін природного середовища не є якоюсь принципово новою системою, що вимагає організації мережі нових спостережливих станцій, ліній і телекомунікацій, центрів обробки даних і т.д. Вона входить складовою частиною в універсальну систему спостережень і контролю стану природного середовища, систему, що вже розвивається багато років (гідрометеорологічні служби). Вона може стати також частиною чи в значній мірі спиратися, наприклад, на Всесвітню службу погоди Всесвітньої метеорологічної організації та інші служби.

Таким чином, система моніторингу забруднень може і повинна бути частиною вже існуючої служби спостережень і контролю стану природного середовища, використовувати її досвід, систему спостережливих станцій (звичайно, із включенням вимірів нових елементів), ліній телекомунікацій і центрів обробки даних із розвитком деяких елементів.

Як уже відзначалося, для забезпечення функціонування системи спостережень і контролю стану навколишнього природного середовища, що дозволяє виділити зміни, викликані антропогенними причинами, необхідна детальна інформація про природні коливання і зміни стану середовища; здійснення моніторингу передбачає одержання (чи наявність) такої інформації.

¹ Израэль Ю.А. Глобальная система наблюдений. Прогноз и оценка измерений состояния окружающей природной среды. Основы мониторинга. – Метеорология и гидрология. 1974. № 7, с. 3-8.

Моніторинг включає наступні основні напрями діяльності:

- 1) спостереження за факторами, що впливають на навколишню природне середовище, і за станом середовища;
- 2) оцінку фактичного стану природного середовища;
- 3) прогноз стану навколишньої природного середовища та верифікація прогнозу.

Таким чином, моніторинг – це система спостережень, оцінки і прогнозу стану природного середовища, що не включає керування якістю навколишнього середовища. Однак очевидно, що для правильної організації керування якістю навколишнього природного середовища зовсім необхідною умовою є організація системи моніторингу.

Система моніторингу може охоплювати як локальні райони, так і земну кулю в цілому (глобальний моніторинг).

Національним моніторингом звичайно називають систему моніторингу в рамках однієї держави; така система відрізняється від глобального моніторингу не тільки масштабами, але і тим, що основною задачею національного моніторингу є одержання інформації і оцінка стану навколишнього середовища в національних інтересах. Так, підвищення рівня забруднення атмосфери в окремих містах чи промислових районах може і не мати істотного значення для оцінки стану біосфери в глобальному масштабі, але є важливим питанням для вживання заходів у даному районі на національному рівні.

Природно, що глобальна система моніторингу повинна ґрунтуватися на підсистемах національного моніторингу, включати елементи цих підсистем (немає необхідності включати в глобальну систему цілком ці підсистеми, тому що в їхню компетенцію входять і національні питання).

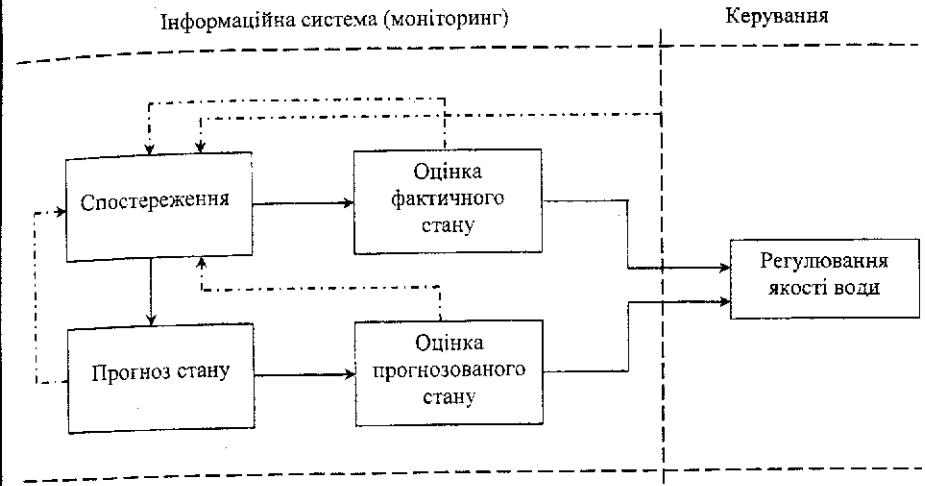
Іноді застосовують термін "транскордонний", чи "міжнародний", моніторинг. Очевидно, вірніше всього цей термін уживати для систем моніторингу, що використовуються в інтересах декількох держав (для розглядання питань трансграничного переносу забруднень між державами і т.п.).

Отже, екологічний моніторинг є багатоцільовою інформаційною системою. Його основні задачі: спостереження за станом біосфери, оцінка і прогноз її стану; визначення ступеня антропогенного впливу на навколишнє середовище, виявлення факторів і джерел такого впливу, а також ступеню їхнього впливу.

Розглянемо універсальну схему інформаційної системи контролю стану природного середовища, придатну як для системи в цілому, так і для будь-якої геофізичної служби, що входить у цю систему (гідрометеорологічної служби чи системи спостережень забруднень – моніторингу забруднень чи моніторингу антропогенних змін у біосфері). Оскільки в системі контролю стану природного середовища моніторинг забруднень є відносно новим елементом, саме на ньому і зупинимося докладніше; пояснення до універсальної схеми будемо давати в основному стосовно до схеми моніторингу забруднень природного середовища.

Найбільш універсальним підходом до визначення структури системи моніторингу антропогенних змін природного середовища є його поділ на

блоки: "Спостереження", "Оцінка фактичного стану", "Прогноз стану", "Оцінка прогнозованого стану" (існуючі геофізичні служби будувалися по такій само схемі).



Малюнок 1.1 – Блок-схема системи моніторингу

У дану схему укладаються всі перераховані вище блоки (підсистеми).

Нижче докладніше розглядаються складові частини і блоки системи моніторингу антропогенних змін природного середовища.

На мал. 1.1 показані окремі блоки описуваної системи, а також прямі і зворотні зв'язки між цими блоками.

Блоки "Спостереження" і "Прогноз стану" тісно зв'язані між собою, тому що прогноз стану навколишнього середовища можливий лише при наявності достатньо-репрезентативної інформації про фактичний стан (прямий зв'язок). Побудова прогнозу, з одного боку, має на увазі знання закономірностей змін стану природного середовища, наявність схеми і можливостей чисельного розрахунку, з іншого боку, спрямованість прогнозу в значній мірі повинна визначати структуру і склад спостережливої мережі (зворотний зв'язок).

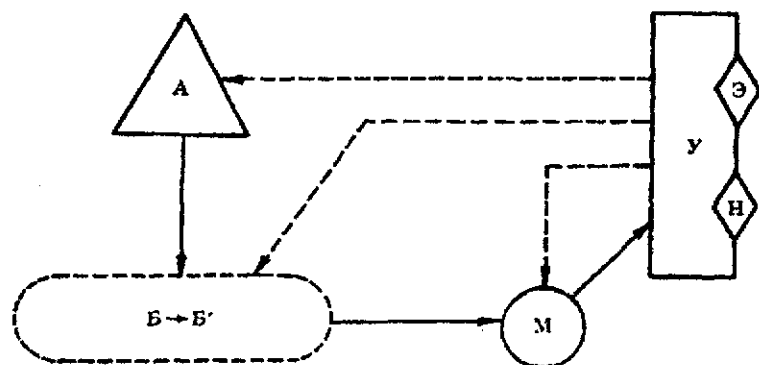
Дані, що характеризують стан природного середовища, отримані в результаті спостережень чи прогнозу, повинні оцінюватися в залежності від того, у якій області людської діяльності вони використовуються (за допомогою спеціально обраних чи вироблених критеріїв). Оцінка має на увазі, з одного боку, визначення збитку від впливу, з іншого боку, вибір оптимальних умов для людської діяльності, визначення існуючих екологічних резервів. При такого роду оцінках мається на увазі знання допустимих навантажень на навколишнє природне середовище.

Інформаційні геофізичні системи, так само як і інформаційна система моніторингу антропогенних змін, є складовою частиною системи керування, взаємодії людини з навколишнім середовищем (системи керування станом

навколишнього середовища), оскільки інформація про існуючий стан природного середовища та тенденції його зміни повинна бути покладена в основу розробки заходів для охорони природи і враховуватися при плануванні розвитку економіки. Результати оцінки існуючого і прогнозованого стану біосфери у свою чергу дають можливість уточнити вимоги до підсистеми спостережень (це і складає наукове обґрунтування моніторингу, обґрунтування складу і структури мережі і методів спостережень).

На мал. 1.2. показане місце моніторингу в системі керування (регулювання) станом навколишнього природного середовища. На схемі умовно сполучені енергетичні та інформаційні потоки.

Елемент біосфери з рівнем стану Б, піддаючись антропогенному впливу у (А), змінює свій стан (Б→Б').



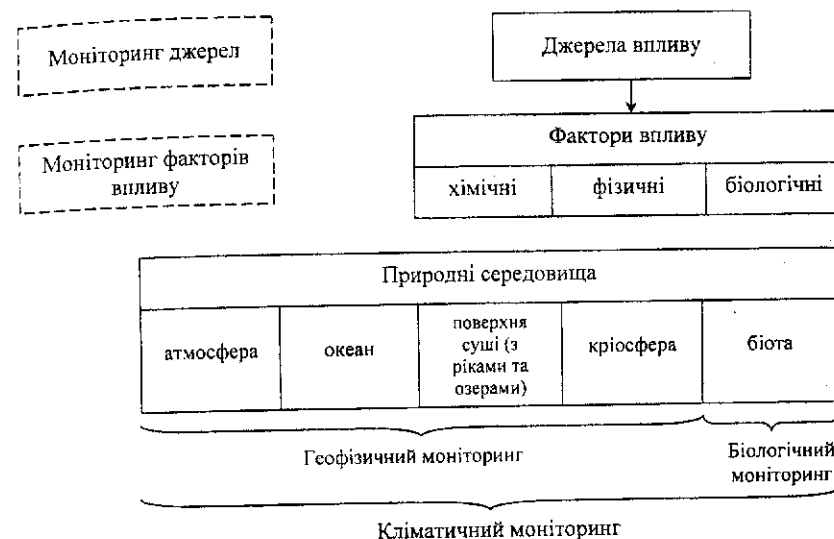
Малюнок 1.2 – Місце моніторингу в системі керування станом природного середовища

За допомогою системи моніторингу (М) виходить "фотографія" цього зміненого (а по можливості і первісного) стану, виробляється узагальнення даних, аналіз і оцінка фактичного і прогнозованого стану. Ця інформація передається в блок керування (У) (ухвалення рішення), див. також мал. 1.1. На підставі цієї інформації у залежності від рівня науково-технічних розробок (Н) і економічних можливостей (з урахуванням еколого-економічних оцінок) (Е) приймаються заходи по обмеженню чи припиненню антропогенних впливів, по профілактичному "закріпленню" чи наступному "лікуванню" елемента біосфери. Безумовно, можлива комбінація перерахованих підходів. Удосконалюється і система моніторингу (зазначені дії показані на схемі штриховими лініями).

Відзначимо, що, оскільки оцінка фактичного і прогнозованого стану природного середовища є складовою частиною моніторингу (див. мал. 1.1), деякі автори ідентифікують цю частину моніторингу з елементом керування станом природного середовища.

Спостереження за станом навколишнього природного середовища повинні включати спостереження за джерелами і факторами антропогенного впливу (у тому числі джерелами забруднень, випромінювань і т.п.), за станом

елементів біосфери (у тому числі за відгуками живих організмів на вплив, за зміною їхнього структурного і функціонального показників; див. мал. 1.3). При цьому мається на увазі одержання даних про первісний (чи фоновий) стан елементів біосфери.



Малюнок 1.3 – Схема і класифікація моніторингу

Зазначений підхід охоплює спостереження за всім циклом антропогенних впливів – від джерел впливу до впливу і реакцій окремих природних середовищ і складних екологічних систем (мал. 1.3). На малюнку також показана класифікація послідовних "ступіней" моніторингу. Класифікація моніторингу і всіх його можливих напрямків є складною і громіздкою задачею.

Оцінка стану природного середовища має на увазі всебічний аналіз стану, що викликаний впливом різних факторів у різних середовищах (часто одночасних і посилюючих ефект впливу). Так, якщо розглядати вплив на біотичну складову біосфери, то, мабуть, екологічний збиток залежить від того, яким впливам, із якою інтенсивністю, яка кількість організмів (і яких) буде піддана. Для комплексної оцінки стану природного середовища і виявлення динаміки цього стану одночасно повинні вестися метеорологічні, гідрологічні і деякі біологічні спостереження, що дозволяють правильно інтерпретувати і виділяти антропогенні зміни на тлі природних процесів.

У наступних розділах докладно описані перераховані підсистеми – спостереження, прогнозу і оцінки стану природного середовища. При цьому моніторингу антропогенних забруднень приділена особлива увага.

Тема 1.2. Спостереження за зміною стану біосфери, джерелами і факторами антропогенних впливів

Для аналізу і прогнозу екологічної ситуації, як у глобальному, так і в регіональному масштабах необхідне знання багатьох геофізичних процесів, різних антропогенних ефектів і ситуацій, що їх викликають. У першу чергу, це відноситься до виявлення і вивчення антропогенних факторів впливу.

Одержання вихідних даних і їхній первинний аналіз забезпечує система фонового моніторингу, створювана в національних рамках у ряді країн, і система глобального моніторингу, створювана під егідою ЮНЕП.

Комплекс антропогенних факторів, що впливають на стан біосфери, на здоров'я населення, винятково різноманітний – сюди включається забруднення природних середовищ різними хімічними речовинами, викид інертного матеріалу, фізичний (у тому числі механічний) вплив, що порушує природний покрив планети, нагрів біосфери, біологічний вплив, вилучення ресурсів, що поновлюються і не поновлюються і т.п.

Ще більш різноманітні ефекти, результати антропогенних впливів, що ведуть до зміни основних елементів біосфери, до геофізичних і екологічних змін значного масштабу; антропогенні впливи безпосередньо чи шляхом зазначених змін впливають на здоров'я і добробут населення, приводять до різних соціально-економічних змін.

Нижче послідовно розглядаються основні фактори, елементи і процеси, що вимагають ретельного спостереження і дослідження. У табл. 1.1 приводиться класифікація факторів, стану і процесів (за якими повинне бути встановлене спостереження в рамках системи моніторингу).

Таблиця 1.1 – Класифікація станів природного середовища і здоров'я населення, реакцій природних систем, джерел і факторів впливу, охоплюваних системою моніторингу

Розділ спостережень		Класифікація	
А	Джерела і фактори впливу	А.1. А.2.	Джерела забруднення і впливів. Фактори впливу (забруднюючі речовини, випромінювання і т.д.)
Б	Стан навколишньої природного середовища	Б.1. Б.2.	Стан середовища, що характеризується фізичними і фізико-географічними даними. Стан середовища, що характеризується геохімічними даними, даними про склад і характер забруднень.
В	Стан біотичної складової біосфери	В.1.	Реакція біоти – відгуки і наслідки: а) в окремого організму, б) у популяції, в) у співтовариства і екосистеми
Г	Реакція великих систем	Г.1. Г.2.	Реакція великих систем і біосфери в цілому (погода і клімат). Реакція біосфери в цілому.
Д	Стан здоров'я і добробут населення ¹		

¹ Моніторинг стану здоров'я населення складає спеціальний розділ досліджень. У дійсному посібнику в основному розглядаються розділи А-Г.

Спостереження за локальними джерелами впливів і забруднень і факторами впливів виділені в спеціальний розділ спостережень (розділ А). Такі джерела можуть бути природними (виверження вулканів, безпідставний вихід газів, нафти і т.д.) і антропогенними (викиди промислових підприємств; сільськогосподарські джерела – тваринницькі ферми і поля після внесення хімічних добрив і засобів боротьби зі шкідниками рослин; повітряний, водяний і наземний транспорт, комунальні джерела забруднень і т.д.).

Спостереженням за факторами впливів (головним чином, антропогенних) повинна бути приділена найпильніша увага. Важко проаналізувати стан середовища, виявити причини змін у ній без ретельного вивчення факторів впливів – різних забруднюючих речовин, випромінювань і т.д. Спостереження за факторами впливів включені також у розділ спостережень за станом середовища (розділ Б), тому що в деяких випадках характеризують стан середовища (наприклад, по геохімічним даним).

Спостереження за неземними джерелами різних впливів (сонячні спалахи, сонячні і галактичні потоки часток), які необхідно враховувати при оцінці і прогнозі стану природного середовища, ведуться геліогеофізичною і астрономічною службами.

Розділ Б включає спостереження за станом і змінами середовища по геофізичним даним, які одержані шляхом послідовних чи безупинних вимірів відповідних параметрів, що характеризують миттєвий стан середовища. Такі спостереження вже проводяться рядом геофізичних служб. Спостереження за стихійними природними явищами катастрофічного характеру (вулканізм, землетруси, цунамі, посухи, урагани, повені, селі, сніжні лавини, ерозія ґрунтів і ін.) в основному знаходяться в компетенції зазначених служб.

Фізико-географічні дані, включаючи дані про розподіл суші і води, рельєф поверхні земної кулі, природні ресурси (мінеральні, земельні, рослинні, водянні, ресурси фауни), народонаселення, урбанізацію та ін., також є найважливішою інформацією про стан природного навколишнього середовища.

У цей же розділ включені спостереження за станом середовища (і змінами цього стану), що характеризуються геохімічними даними, тобто спостереження за кругообігом речовин у природі, за складом сторонніх домішок у біосфері (у тому числі радіоактивних речовин), за різними специфічними фізичними характеристиками середовища, включаючи спостереження за шумовим, тепловим забрудненнями (поняття забруднень в останніх випадках є умовними, але загальноприйнятими) і різними випромінюваннями (іонізуючими і неіонізуючими).

До розділу Б відносяться також спостереження за хімічним складом (природного і антропогенного походження) атмосфери, опадів, поверхневих і підземних вод, вод океанів і морів, ґрунту, донних відкладень, рослинності, тварин і спостереження за основними шляхами поширення забруднень. Саме ці спостереження найчастіше відносять до першорядного по важливості в системі моніторингу. Необхідно відзначити, що подібні забруднення можуть з'явитися джерелами забруднення інших середовищ. Однак вище в окремий розділ (розділ А) виділені лише локальні джерела забруднень.

Розділ В включає спостереження за реакцією біоти (живої складової біосфери) на різні фактори впливів і змін стану навколишнього середовища; до цих спостережень відносяться спостереження за відгуком (оборотні зміни) і наслідками (необоротні зміни) у біоти. Можливі спостереження по функціональних і структурних біологічних ознаках. До числа функціональних ознак можна віднести, наприклад, приріст біомаси в одиницю часу, швидкість поглинання різних речовин рослинами і тваринами; до числа структурних – чисельність видів рослин і тварин, загальну біомасу. Ці спостереження повинні бути організовані на різних рівнях – окремого організму і популяції, співтовариства і екосистеми.

Особливе місце в природі займає людина. Спостереження за реакцією людського організму на різні впливи повинне бути виділене в окремий розділ через його важливість і специфічність. Моніторинг факторів, зв'язаних із здоров'ям людини, включає також спостереження і оцінку умов середовища, що впливають на здоров'я людини, поширення різних захворювань і т.д.

Розділ Г – спостереження за реакцією великих систем (погоди, клімату) і біосфери в цілому – включає всю систему спостережень, перерахованих у розділах Б і В, спостережень за станом кліматичної системи і вимагають спеціальних узагальнень і оцінок.

Спостереження, які побудовані по зазначеній системі для виконання задач, що викладені вище, можуть здійснюватися за фізичними, хімічними і біологічними показниками. Для визначення динаміки стану біосфери виміри повинні повторюватися через визначені інтервали часу, а за найважливішими показниками повинні бути безперервними. Система спостережень може бути побудована на основі дискретних вимірів (на станціях), включаючи дистанційні спостереження, чи на основі площадних зйомок і одержання інтегральних показників; можливо і доцільно комбіноване використання цих принципів. Дані площадних зйомок і інтегральних показників повинні грати дуже істотну роль у системі моніторингу. Важлива роль при організації спостережень повинна бути відведена також використанню авіаційних і супутникових засобів і методів. При розгляді і аналізі результатів важливо виділити зміни стану середовища, реакцію біоти на ці зміни, що відбуваються внаслідок антропогенного впливу. Для цього важливо знати первісний стан середовища, тобто стан до істотного втручання людини. Цей первісний стан можна частково відновити за результатами спостережень, що ведуться тривалий час, а також за даними аналізу складу донних відкладень, льодовикових шарів, деревних кілець, що відносяться до періоду, що передую початку помітного впливу людини на навколишнє середовище.

При вивченні антропогенного впливу на біосферу варто визначити глобальний фоновий стан біосфери в даний час у місцях, вилучених від локальних джерел впливу (забруднення), і фоновий стан, характерний для кожного регіону (ці рівні можуть істотно розрізнятися).

Тема 1.3. Оцінка і прогноз антропогенних змін стану біосфери

Оцінка змін і тенденцій змін стану навколишнього середовища повинна дати відповідь на питання про неблагополуччя положення, указати, чим саме обумовлений такий стан, допомогти визначити дії, спрямовані на відновлення чи нормалізацію положення, чи, навпаки, указати на особливо сприятливі ситуації (короточасні чи довгострокові), наявність природних можливостей, що дозволить ефективно використовувати наявні екологічні резерви природи в інтересах людини.

Таким чином, для оцінки стану навколишнього природного середовища з урахуванням змін антропогенного характеру необхідно вміти, з одного боку, визначати можливий збиток від природного і антропогенного впливу, а, з іншого боку, вміти розпізнати додаткові природні можливості для використання їх в інтересах людини. Для цього потрібно знати величину гранично допустимих навантажень на середовище і екологічний резерв даної екосистеми. Розглянемо ці питання послідовно.

Можна умовно розрізняти збиток екологічний, економічний і естетичний. Неважко припустити, що екологічний збиток прямим образом залежить від ступеня впливу різних факторів на біосферу; економічний і естетичний збитки в значній мірі зв'язані з екологічним.

Розглянемо спочатку питання екологічного збитку і резервів екосистеми. Екологічний збиток від якого-небудь впливу визначається відхиленнями від деякого стану (що характеризує границю припустимого) екосистеми, співтовариства, популяції під впливом даного впливу.

Несприятливі явища можуть наступити вже при невеликому ступені відхилення стану від оптимального, але з різною ймовірністю – із тим більшою, ніж більше таке відхилення; при переході через критичний рівень – із дуже великою ймовірністю (за критичний рівень можна прийняти 50% чи 100% ймовірність появи необоротних змін).

Для того щоб краще зрозуміти питання про відхилення стану від оптимального, уведемо деяку функцію стану екосистеми чи іншого елемента біосфери, що характеризує, наприклад, продуктивність, швидкість обміну речовини і енергією в системі, чи комбінацію цих чи інших аналогічних факторів, що відповідають структурним чи функціональним показникам екосистеми. Ця функція $\eta(R, t)$, що міняється в просторі і часі, може бути записана для екосистеми в цілому чи будь-якій популяції і розглянута потім у припустимих для неї межах.

Для оцінки стійкості екосистеми вводиться універсальна функція, названа мірою гомеостазу, рівна відношенню функціональних показників екосистеми до структурного.

Очевидно, можна визначити критичні і гранично допустимі значення функції η_k і η_n , що повинні відрізнятися друг від друга (іноді можливе сполучення цих рівнів). У більшості випадків функція η_k (так само як і η_n) має дві множини значень – максимальні і мінімальні, а інтервал припустимих значень (і оптимальні значення) лежить між ними; зміна η у часі обумовлена

зміною зовнішніх природних умов (температури середовища, вологозабезпеченості і т.п.).

Очевидно, що будь-яке відхилення екосистеми від фактичного під дією зовнішніх факторів визначається ступенем впливу цих факторів на п-екосистему.

Тоді можна записати, що під впливом даного впливу A_n стан екосистеми з первісного (фоновий чи вже трохи зміненого в порівнянні з фоновим), що характеризується функцією η_0 , переходить у фактичний (змінений) стан, що характеризується функцією

$$\eta_{\phi} = A_n \cdot \eta_0. \quad (1.1)$$

Екологічний збиток зв'язаний з таким відхиленням, що наносить оборотний чи необоротний збиток екосистемі. У цьому випадку ознакою екологічного збитку є можливі "поломки", зміни на популяційному рівні, рівні співтовариства.

Різниця між фактичним і гранично допустимим (а іноді і критичним) станами екосистеми може бути названа екологічним резервом цієї системи.

Якщо розглядати впливу на біотичну складову біосфери, то очевидно, що екологічний збиток залежить від того, яким дозам, із якою інтенсивністю, яким впливам, яка кількість організмів (і яких) буде піддана.

Можна стверджувати, що ступінь впливу на живу складову біосфери залежить від інтенсивності I фактора, що впливає на біосферу, (концентрації забруднюючої речовини, інтенсивності випромінювання і т.п.), ефекту біологічно шкідливого впливу ε (наприклад, токсичності для даної популяції і екосистеми), що може залежати від I нелінійно, кількості організмів N_m т-популяції п-екосистеми, що піддаються впливу, і чутливості K_m т-популяції в екосистемі до даного впливу. При оцінці впливу потрібно враховувати одночасний вплив усіх факторів, що діють у різних середовищах.

У свою чергу концентрація забруднюючих речовин, що міняється в просторі і в часі $I_i(R, t)$ (чи інтенсивність впливу якого-небудь фактора), є функцією джерел $Q_i(R, t)$ і залежить від розсіювання і переміщення, тобто від гідрометеорологічних чи фізичних характеристик середовища

$$I_i(R, t) = F(Q_i, v_R, \omega_R, v_z, \dots) \quad (\text{для атмосфери}), \quad (1.2)$$

де v_R, ω_R, v_z – швидкість вітру, коефіцієнт турбулентної дифузії, швидкості гравітаційного осадження відповідно.

У свою чергу:

$$Q_i(R, t) = \sum_j q_{ij}(R, t). \quad (1.3)$$

де q_{ij} – кількість i -ї речовини, що викидається окремими j -джерелами. В їхнього розподілу в просторі істотно залежить розподіл $I_i(R)$.

При оцінці ступеня впливу передбачається знання закономірностей перетворення даного інгредієнта i -го класу в інший $(i+1)$ -й клас і значення закономірностей переходу з одного середовища в інше $(l \rightarrow l+1)$

$$I_{i+1,l} = \omega_i(t) I_{il} \quad (1.4)$$

$$I_{i,l+1} = \mu_i(t) I_{il} \quad (1.5)$$

де ω_i, μ_i – коефіцієнти відповідних перетворень чи переходів.

Таким чином, ступінь впливу A_n у загальному виді може бути записана для п-екосистеми (співтовариства) у визначеному регіоні (районі)

$$A_n = \int \int \sum_R \sum_m \sum_i I_i(R, t) \cdot \omega_i(t) \cdot \mu_i(t) \cdot C_{ilm} \cdot \varepsilon_{ilm} \cdot N_m \cdot K_m \cdot v_{i,l+k} \cdot \xi_{m,m+k} dR dt, \quad (1.6)$$

де $v_{i,l+k}$ характеризує ефект одночасного впливу i -го, $(i+k)$ -го (і будь-якого іншого) інгредієнтів; $\xi_{m,m+k}$ – коефіцієнт, що враховує ефект одночасного впливу на m -ю, $(m+k)$ -ю (і будь-яку іншу) популяцію даної екосистеми; C_{ilm} – геометричний фактор, що враховує вплив на даний організм (елемент біосфери) фактично розподіленого в часі і просторі I . Цей фактор враховує, наприклад, співвідношення розподілів концентрації i -ї речовини у зовнішньому середовищі і в організмах m -популяції.

Якщо A_n оцінюється в абсолютних значеннях екологічного збитку для даної екосистеми, співтовариства, то у формулу вводиться коефіцієнт K_m , що характеризує значимість (чи в деяких випадках чутливість чи критичність) m -популяції у даній екосистемі, при цьому $0 \leq K_m \leq 1$; при $K_m = 0$ дана популяція не є значимою для даної екосистеми і може випасти чи бути замінена якою-небудь іншою популяцією. Для унікальних екосистем для будь-якої популяції $K_m > 0$.

Коефіцієнт K_m дорівнює одиниці для найважливіших популяцій і в першу чергу для людської. Для кожної екосистеми можуть бути виділені найважливіші популяції. Так, для польярних екосистем такою популяцією є популяція лемінга для екосистеми оз. Байкал – зоопланктон епішура.

Формула (1.6) справедлива і для абіотичних елементів біосфери (у цьому випадку m означає номер будь-якого елемента біосфери). Більш того, при загальній універсальній оцінці ступеня впливу і екологічного збитку у формулі (1.6) повинні враховуватися як біотичні, так і абіотичні складові біосфери.

Формулою (1.6) можна скористатися для оцінки стану біосфери, оцінки екологічного збитку. Ця формула може бути корисною і при оцінці економічного збитку, а також при обґрунтуванні системи моніторингу стану навколишнього природного середовища. Вона є занадто складною для практичного використання, але може бути істотно спрощена шляхом виділення важливих, найбільш значимих, компонентів, що входять у цю формулу.

Для багатьох випадків можна покласти $v_{i,l+k}, \xi_{m,m+k} = 1$, тобто зневажити додатковим посиленням чи ослабленням сумарного впливу при одночасній дії декількох інгредієнтів (відсутність синергізму чи антагонізму) чи одночасній дії якого-небудь інгредієнта на кілька популяцій у екосистемі.

Можна розглядати тільки такі популяції, для яких можна вважати $K_m \approx 1$.

Розглядаючи ступінь впливу в кожен момент часу для якого-небудь середовища l , можна записати в зазначених вище припущеннях

$$A_{n,l}(t) = \int \sum_R \sum_i I_i(R, t) \cdot C_i \cdot \varepsilon_m \cdot N_m(R, t) dR. \quad (1.7)$$

Дана формула більш проста для практичного використання.

Для того щоб практично оцінити загальний вплив різноманітних і різнорідних факторів і визначити в такий спосіб екологічний збиток, що

наноситься даній екосистемі, величину $b_{ilm} = I_{il} \cdot C_{ilm} \cdot e_{ilm}$ у підінтегральному вираженні формули (1.6) чи (1.7) необхідно виражати в порівнянних одиницях, наприклад, у гранично допустимих $b_{ilm}(0)$ чи критичних $b_{ilm}(\max)$ значеннях даного фактора впливу; інші величини – у відносних одиницях чи нормованому виді. Позначимо при цьому A_n через $A_n(0)$ і $A_n(\max)$ відповідно. Розподіл чисельності даної популяції варто виражати в нормованому виді

$$n_m(R, t) = \frac{N_m(R, t)}{\int \int N_m(R, t) dR dt} \quad (1.8)$$

Порівняння значень A_n за різні інтервали часу дозволить визначити тенденції у зміні стану окремих екосистем (у випадку, якщо стан екосистеми істотно визначається ступенем впливу і залежить від впливу однаковим образом у часі).

Вплив A_n умовно можна вважати для екосистеми припустимим, якщо, наприклад, дотримуються наступні умови:

$$\int \int n_m(R, t) \cdot b_{ilm}(R, t) dR dt < b_{ilm}(\max). \quad (1.9)$$

для будь-якого фактора впливу i і всіх l, m

$$A_n(\max) < 1. \quad (1.10)$$

Замість останнього можна ввести більш жорстка умова

$$A_n(0) \leq 1 \quad (1.11)$$

При оцінці стану навколишнього середовища і можливого екологічного збитку передбачається користуватися деякими критеріями допустимості впливу, критеріями якості навколишнього середовища і критеріями допустимості інтенсивності джерела впливу при існуючих реальних умовах.

Мова може тут йти про гранично допустимі концентрації забруднень (ГДК) для оцінки допустимої кількості речовини, що впливає, у середовищі, гранично допустимих дозах для оцінки допустимого ефекту впливу, гранично допустимих викидах (ГДВ) для оцінки допустимої інтенсивності джерела забруднень і гранично допустимому екологічному навантаженню (ГДЕН) для оцінки допустимого екологічного навантаження на окрему екосистему чи в рамках усього регіону. В останньому випадку можна умовно говорити про ГДЕН для даного регіону в цілому.

Для вироблення ГДЕН повинні враховуватися можливості комбінованого і комплексного впливу на екосистему, як це було показано в модулі 2. Наприклад, ртуть, потрапляючи у водні об'єкти шляхом вимивання з ґрунту, переходить у високотоксичну форму, що робить проблему забруднення ртуттю надзвичайно серйозною (навіть при первинних кількостях ртуті в повітрі в межах ГДК).

Вироблення ГДЕН повинне спиратися на поняття стійкості екосистеми чи критичності стану екосистеми чи окремих її ланок і рівнів.

Як правило, відмінність гранично допустимих η_d і критичних η_k значень факторів впливу, установлених для популяцій, є дуже істотним.

Однак для деяких екосистем за гранично допустиме значення впливу приймається таке, котре при істотній перебудові не веде до руйнування екосистеми. У цьому випадку, очевидно $\eta_d = \eta_k$.

Для оцінки економічного збитку у формулах (1.6) і (1.7) усі величини в підінтегральному вираженні беруться в абсолютних значеннях і вводиться коефіцієнт L_{im} , що характеризує економічний збиток на одиницю екологічного збитку для кожної популяції від i -го інгредієнта; цей підхід застосуємо лише при припустимих значеннях A_n .

Для повного обліку збитку необхідно провести комплексний (усебічний) аналіз усіх видів впливу на всі складові біосфери.

Для оцінки стану біосфери необхідне вивчення закономірностей $\omega_i(t)$, $\mu_i(t)$, а також знання величин $v_{i,i+k}$, $\xi_{m,m-k}$ і $b_{ilm}(0)$, $b_{ilm}(\max)$ і L_{im} для основних (чи усіх) факторів впливу.

Найбільш складною є оцінка естетичного збитку. Природно, про естетичний збиток можна говорити тільки стосовно сприйняття навколишнього природного середовища людиною. Збиток, зв'язаний зі зміною звичної обстановки, ландшафту для тварин, відноситься до екологічного збитку. Кількісний зв'язок естетичного збитку з економічним збитком може бути встановлений, наприклад, у тому випадку, коли можна визначити збиток від зменшення потоку туристів, викликаного погіршенням естетичної цінності природного середовища (так названий рекреаційний збиток), або у випадку оцінки погіршення здоров'я людей, викликаного відмовленням від поїздок для відпочинку, чи погіршенням умов відпочинку.

Однак, мабуть, що поняття "естетичний збиток" більш широке і виходить за межі цих випадків; так, зменшення естетичної цінності унікальних і заповідних екосистем не піддається ніякій економічній оцінці (у деяких випадках можна вважати, що економічний збиток (В) непоправний, тобто $B \rightarrow \infty$).

Прогноз і оцінка прогнозованого стану біосфери є складовою частиною моніторингу.

Прогноз спирається на дані про стан навколишнього природного середовища в сьогоденні і минулому (ці дані одержують при спостереженнях і аналізі результатів спостережень).

Вивчення рядів спостережень, виявлення закономірностей у зміні стану природного середовища дозволяють визначати тенденції цих змін.

Прогнозування стану біосфери повинне ґрунтуватися на результатах досліджень, що виявляють закономірності природних процесів, закономірності в поширенні і міграції забруднюючих речовин, у їхніх перетвореннях, їхньому впливі на стан навколишнього середовища, реакції різних організмів на зміни цього стану.

На першому етапі необхідно прогнозувати зміну інтенсивності джерел різних впливів і забруднень, здійснювати прогноз факторів впливу в природному середовищі, наприклад, загальної кількості забруднюючих речовин у різних середовищах, їхнього розподілу в просторі, зміни їхніх властивостей і концентрацій у часі.

Необхідними для складання такого прогнозу є дані про плани діяльності людини.

При складанні прогнозів стану біосфери можна прийняти припущення про діяльність людини, що не змінюється, (наприклад, припустити сталість джерел забруднення) чи взяти до уваги дані про плани збільшення обсягу господарської діяльності (що може повести до збільшення забруднення навколишнього середовища) і заходах щодо зниження забруднення навколишнього середовища (що стримує чи зменшує забруднення). У якості першого (навіть нульового) наближення такого прогнозування є прогноз забруднень біосфери в припущенні повної відсутності джерел забруднення, починаючи з деякого моменту. Це дозволить точніше врахувати всі геофізичні, геохімічні і біогеофізичні процеси, зв'язані з "життям", перетвореннями і міграцією забруднюючих речовин.

Тут особлива увага повинна бути приділена можливості збільшення токсичності різних речовин, їхньої рухливості.

Наступним етапом прогнозування є прогноз можливих змін у біосфері, у її біотичній складовій під впливом уже наявних у природі забруднень (і інших факторів впливу), а також, що знову надходять чи з'являються.

Варто вказати, що уже виниклі під впливом людської діяльності зміни в біосфері можуть позначатися на стані її окремих елементів ще багато років (особливо, коли мова йде про генетичні наслідки), навіть якщо додатковий зовнішній вплив буде зменшуватися чи припиниться цілком.

Оцінка, аналіз прогнозованого стану біосфери дозволяють вказати, вибрати визначені напрямки, що вимагають пріоритетних заходів для боротьби з їх негативними проявами; прогноз дозволить намітити і здійснити не тільки міри, спрямовані на поліпшення вже наявного (і, можливо, що збільшується) впливу, але і міри профілактичного характеру, проти негативних ефектів, що ще не проявилися. Крім районів, у яких стан біосфери неблагополучний у зв'язку з промисловістю, що швидко розвивається, і господарським освоєнням, прогноз дозволяє виділити напрямки (проблеми), що вимагають особливої уваги як у глобальному, так і в регіональному масштабах.

Усебічний аналіз існуючої обстановки, аналіз різних ефектів впливів з урахуванням тенденцій у розвитку людської діяльності дозволяє вважати, що в найближчі роки (а можливо, і десятиріччя) найбільш серйозними будуть проблеми поширення в різних середовищах наступних забруднювачів:

- двоокису сірки і продуктів її перетворень (сірчаної кислоти і сульфатів);
- важких металів (ртуті, свинцю і кадмію), особливо ртуті з урахуванням її міграції і трансформації;
- канцерогенних речовин, зокрема, бенз(а)пирена;
- нафти і її продуктів – у морях і океанах;
- хлорорганічних пестицидів, а в містах також окису вуглецю і окислу азоту.

Прояв цих забруднювачів буде спостерігатися в широких масштабах, результаті охоплення або великого числа місць (міст, населених пунктів), або

результаті поширення на великі відстані (продукти перетворення сірки, важкі метали, нафтопродукти).

Серед глобальних проблем, які варто виділити у зв'язку з тим, що антропогенний вплив і, в першу чергу, викиди різних домішок у природне середовище будуть відігравати істотну роль, можна перелічити наступні:

- можливу зміну клімату за рахунок антропогенного впливу на атмосферу і інші антропогенні зміни в природі;
- можливе порушення озонного шару за рахунок впливу окислів азоту і галогеновуглеводнів антропогенного походження (таке порушення може вплинути і на зміну клімату);
- забруднення Світового океану нафтопродуктами.

Аналіз даних прогнозу дозволить внести визначені корективи в господарську діяльність людини, скорегувати оптимальним образом взаємодію людського суспільства і природи. Таким чином, прогнозування стану біосфери, як це вказувалося і раніше, є необхідною ланкою в керуванні якістю природного середовища.

Тема 1.4. Ймовірнісні підходи до оцінки ризику при можливій небезпеці для елементів біосфери і людини

Раніше були викладені підходи до оцінок, обчислення різного виду збитку при антропогенних впливах на природне середовище.

Однак у деяких випадках необхідно оцінити можливий ступінь збитку, потенційний збиток, зв'язаний з деякою ймовірністю впливу і залежний від багатьох факторів, поява яких також є ймовірною подією. У таких випадках нерідко вводиться поняття ризику, тобто ймовірності виникнення визначеного ушкодження, збитку. Таким чином, ризик є ймовірною характеристикою тієї погрози, що виникає в розглянутому випадку для навколишнього природного середовища (і людини) при можливих антропогенних впливах чи інших явищах і подіях.

У темі 1.3 було показано, що збиток (у першу чергу, екологічний) залежить від ступеня впливу на дану систему (елемент біосфери). Однак необхідно підкреслити, що мова йде про можливий збиток, тому що у вираженні ступеня впливу [див. формулу (1.6)] входять величини, значення яких зв'язані з визначеною ймовірністю. Так, число підданих впливу організмів залежить від напрямку поширення даної забруднюючої речовини, але при оцінці ступеня впливу, а потім можливого збитку приймається деяка ймовірність поширення речовини в цьому напрямку (наприклад, для поширення в атмосфері використовується розподіл вітрів для даної території); розподіл організмів (підданих впливу) у просторі і в часі також носить ймовірнісний характер.

У цьому змісті оцінка ступеня впливу еквівалентна оцінці, підрахунку ризику даного впливу на еквівалент біосфери. Так для оцінки ризику при опроміненні необхідно визначити умови впливу (опромінення), ідентифікувати небажані ефекти, знайти співвідношення дози з ефектом і потім оцінити загальний ризик.

Оцінка ризику має на увазі оцінку виду і ступеня погрози, розуміння ч небезпеки можливого збитку, зв'язаного з впливом.

Розрахунок, обчислення ризику – це кількісне вираження ймовірності якого-небудь наслідку, оцінка ризику – це порівняння ризику конкретного наслідку з іншими видами ризику (з урахуванням існуючих підходів до оцінки цих інших видів ризику). Таке визначення оцінки ризику близько до поняття оцінки збитку (що проявляється чи очікується), що наноситься природному середовищу, в обох випадках для оцінки використовуються деякі вироблені порівняльні критерії.

Очевидно, що при прийнятті рішень можна по-різному використовувати інформацію, дані про ризик: у деяких випадках варто прагнути того, щоб за будь-яку ціну уникнути визначеного ризику (несприятливий ризик), або збалансувати деякий ризик з іншим видом ризику (збалансований ризик), або зіставити даний ризик у поняттях вигода-ризик, збиток-вигода. Тут з'являється соціальна оцінка, соціальне забарвлення значення ризику.

Останнє легко проілюструвати. Простим прикладом є будівництво опор високовольтних ліній електропередачі. При виборі міцності опор необхідно проаналізувати вартість опор різної міцності, зіставивши її з ймовірністю появи занадто сильних вітрів (чи ожеледі) у даному районі і ризиком руйнування таких опор в окремих екстремальних випадках. Оптимальним є варіант, при якому сума соціального чи екологічного збитку від руйнування ліній електропередачі і витрат на їхнє будівництво буде мінімальною.

Таким чином, відновити ці лінії в окремих екстремальних випадках дешевше (і розумніше), чим побудувати надмірні опори, що гарантують схоронність при будь-яких умовах. Критерії міцності відповідно до обчисленого ризику руйнувань при виникненні екстремальних метеорологічних ситуацій і є метою таких досліджень.

Кажучи про соціальну значимість оцінок стану природного середовища треба підкреслити, що необхідною умовою для переходу до соціального оптимуму є вимога більш-менш одночасного досягнення норм харчування населення, забезпечення житлом, норм високої якості навколишнього середовища і т.д.

Ймовірнісні підходи, оцінка ризику виникнення деяких небажаних явищ чи наслідків застосовні і при оцінці складних ситуацій, коли можна проаналізувати і оцінити (кількісно чи навіть якісно) окремі сторони (і їх взаємодію) таких ситуацій чи програм.

Поняття ризику, його кількісна оцінка широко застосовувалися і застосовуються при здійсненні космічних і ядерних програм. Останнім часом такий само підхід розвивається і при оцінці можливих наслідків при антропогенному впливі на природне середовище. Навіть просте виявлення можливої небезпеки є нерідко важливим досягненням. Наприклад, залучення уваги вчених і громадськості до самого факту можливої зміни клімату, порушення озонного шару, факту збільшення (з урахуванням нагромадження і перетворень) токсичності і небезпеки забруднення природного середовища важкими металами, а також до зв'язаних із цими явищами несприятливих

наслідків – усе це серйозні сигнали. Звичайно, далі необхідно визначити, оцінити ступінь небезпеки, зв'язаної з даною погрозою і її наслідками.

У деяких випадках оцінки ймовірності того чи іншого несприятливого явища вдається зробити настільки надійно, що їх можна використовувати в розрахунках при підготовці і здійсненні практичних мір (при розрахунку різних варіантів заходів, обліку можливого економічного збитку і т.д.).

Таким чином, першим кроком оцінки ризику є ідентифікація небезпеки – визначення реальної небезпеки для людини, навколишнього середовища. Тут велика роль приділяється науковому дослідженню. Саме представники фундаментальної науки привернули увагу громадськості до таких питань, як можлива зміна клімату, погроза озонному шару, значним генетичним наслідкам антропогенного впливу на природу і людину. Очевидно, що спроба ідентифікації небезпеки зводиться до пошуку сигналів небезпеки, виділенню такого сигналу на існуючому тлі.

Для ідентифікації небезпеки важливі прийоми апробації, добору (наприклад, різних препаратів), моделювання поведінки різних речовин у середовищі, моніторингу і діагностики (оцінки симптомів, наслідків впливу). Відзначимо, що питання оцінки, діагностики і прогнозу варто віднести до системи моніторингу. Діагностика починається зі спостережень відхилень – по цих відхиленнях необхідно правильно визначити "захворювання". Практично всі дані, що отримані за допомогою моніторингу, вимагають оцінок, по більшій частині – діагностичних.

При ідентифікації небезпеки першим є питання: що являє собою небезпеку, при обчисленні ризику, яка його величина, тобто необхідно визначити ймовірність виникнення даного небезпечного явища і ймовірність несприятливих наслідків. Для визначення і обчислення ризику можуть використовуватися передбачення, інтуїція і екстраполяція.

Поняття інтуїції і передбачення близькі друг до друга тим, що ґрунтуються на неявній інформації (неясність джерела, психологічне переконання, що інформації немає чи її недостатньо). Передбачення часто відноситься до явищ, що або взагалі не мали місця, або є дуже рідкими (наприклад, великі катастрофи, великі природні зміни глобального клімату), інтуїція може відноситися до прогнозу чи оцінці більш повсякденних явищ. Дуже близько до інтуїції примикає екстраполяція існуючого досвіду. Якщо екстраполяція відбувається на базі неявно вираженого досвіду, це відноситься до інтуїції.

Нерідко прогноз майбутніх явищ ґрунтується на методі екстраполяції. Прогноз погоди за допомогою аналогів – приклад такого роду. Статистичний прогноз повеней і посух також являє приклад обчислення ризику методом екстраполяції.

Для подібних цілей застосовуються спеціально розроблені моделі, у яких можуть бути використані і інші отримані раніше закономірності.

До цієї ж категорії можна віднести прийом поширення на близькі види ризику проявів наслідків від антропогенних впливів, наприклад, від забруднень, від вивчених раніше на інших видах різних ефектів. Саме цей метод

пропонується використовувати при організації екологічного моніторингу на фоновому рівні.

При розрахунку ризику нерідко використовуються якісні судження порівняльні оцінки, існують методи їхнього перетворення в кількісні дані. Однак - це питання дуже непросте, суб'єктивне. Наприклад, більш сотні опитаних жителів м. Сант-Луїс (США) ймовірнісний прогноз дощу (з 60% ймовірністю) інтерпретували в такий спосіб: 29% жителів як "майже напевно", 33% - як "імовірно", 28% - як "деякий шанс", а 10% - як "невеликий шанс" чи навіть як "імовірно, ні" (аналогічні труднощі були і при зворотній інтерпретації).

Якісні судження, методи експертних оцінок у силу своєї суб'єктивності мають серйозні слабості; при наступних перевірках виявлялося, що такі дані часто відхиляються у бік збільшення значимості недавніх і часто повторюваних подій, більш вражаючих ефектів (відбувається перебільшення очікуваної ймовірності події). Дуже важко оцінюються рідкі події. Усі ці труднощі відносяться і до оцінки ризику антропогенних впливів і їхніх несприятливих наслідків.

Як уже відзначалося, соціальне визначення (оцінка) ризику є замикаючою в ланцюжку ідентифікації небезпеки: оцінка (обчислення) ризику - соціальна оцінка.

Значимість ризику в останньому випадку оцінюється різними методами - шляхом абсолютної оцінки даного ризику, порівнянням з іншими видами ризику, із витратами по запобіганню ризику, з обліком і виникаючої "вигоди", позитивного ефекту.

У зв'язку з цим можна розглядати заборонний (несприятливий) ризик, збалансований ризик, співвідношення вигода-ризик, витрати-вигода.

Заборонний ризик відноситься, очевидно, до категорії подій, зовсім неприпустимих в уявленні суспільства. Так, заборонний ризик у древньому суспільстві формулювався у формі табу, у сучасному - у виді законів, правил етикету, основних нормативів чи стандартів.

У цьому питанні, звичайно, є деякі протиріччя. Наприклад, у США канцерогенні речовини заборонені в харчових продуктах, але не заборонені у воді; в Україні деякі пестициди заборонені в харчових продуктах, але не заборонені у воді водойм і т.д.

У різних країнах ті самі питання можуть розглядатися по-різному. Незважаючи на те що в основі розробок лежать ті самі закони фізики, маються, наприклад, розходження в нормах деяких держав, наприклад, у нормах на припустиму якість природного середовища і т.д. Проведені опитування показують, що у різних людей маються зовсім несхожі уявлення про ступінь небезпеки, ризику від стихійних явищ чи неблагополучних подій (автомобільна аварія і т.д.).

При викладі ймовірнісних підходів, концепції ризику в літературі нерідко говориться про припустимий, прийнятний ризик. Такий термін допускає двозначне тлумачення. Природно, при його використанні виникає

питання, для кого прийнятний даний ризик - для окремої людини чи суспільства? І при відповіді може виникати протиріччя.

Очевидно, що при виконанні майже будь-якої задачі, здійсненні багатьох програм приходится продумувати шляхи реалізації таких програм із різним ступенем ризику чи з різною ймовірністю вирішити (чи не вирішити) поставлену задачу. Навіть у такій простій задачі, як добратися з пункту А в пункт В, при виборі засобів пересування необхідно проаналізувати систему час-зручності-безпека. Питання при такій інтерпретації полягає в тім, як на науковій основі виробити оптимальне рішення, тобто рішення, зв'язане з найменшим ризиком при здійсненні програми, із найбільшою ймовірністю рішення задачі (і з найменшим збитком). У цьому випадку, мабуть, потрібно говорити не про прийнятний ризик, а про мінімальний збалансований ризик при максимальному успіху. Прикладом збалансованого ризику є використання лікарських препаратів, що супроводжуються побічними явищами, застосування яких у деяких випадках зовсім необхідно з урахуванням інтегральної оцінки стану (здоров'я) організму (чи системи) у цілому.

При використанні підходу, що визначає збалансований ризик, необхідно добре вивчити ступінь ризику кожної окремої події, змін у різних умовах. Так, люди різних спеціальностей піддаються різній небезпеці - льотчики, шахтарі чи сталевари при виконанні своєї роботи піддаються в ряді країн ризику приблизно в 10 разів більше, ніж люди, зайняті в інших сферах виробництва. Підраховано, що у англійських робітників протягом дня ймовірність піддатися ризику ушкодження здоров'я міняється в 600 разів (ймовірність найбільша при проходженні на роботу чи з роботи на машині і особливо на мотоциклі).

Природними границями ризику для людини є діапазон між 10^{-2} (ймовірність захворюваності на душу населення) і 10^{-6} (нижній рівень ризику від природної катастрофи чи іншої серйозної небезпеки). У деяких країнах цей рівень відповідає 10^{-5} і навіть 10^{-4} (наприклад, Бангладеш).

Захисні міри від природних небезпек і антропогенних впливів звичайно розробляються за допомогою методу збалансованого ризику з урахуванням природної небезпеки чи такої небезпеки, із якою громадяни зустрічаються щодня (при користуванні автомобілем і т.д.). Такий підхід реалізується при захисті від землетрусів (так, у м. Лонг-Біч (США) критерієм для вживання захисних заходів використовується значення смертельного ризику 10^{-5} - 10^{-7} на людину в рік, що порівняно з ризиком від нещасливих випадків, із яким людина зіштовхується в повсякденному житті).

При виробленні припустимої дози опромінення на населення за основу береться природний фон опромінення, тобто додатковий ризик від опромінення порівнюємо з невеликим ризиком від фонового опромінення, із яким людство стикається постійно.

При оцінці існуючого ризику суспільство починає різні зусилля для його зменшення, йде на матеріальні витрати. Існує визначена кореляція між різними рівнями ризику і спробами його зменшення. Здається, що ця залежність неоднакова в країнах із різним соціальним ладом. Величезні матеріальні засоби, що виділені в нашій країні на соціальне забезпечення населення, на поліпшення

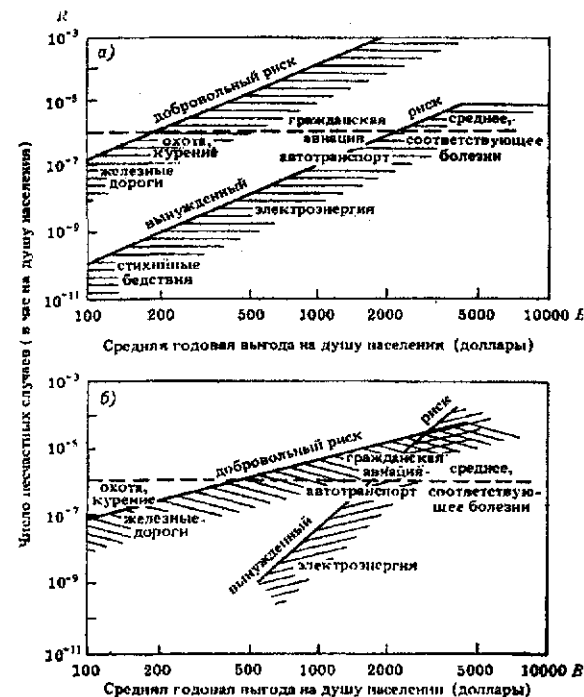
техніки безпеки на виробництві, говорять самі за себе. Очевидно, у цьому випадку має місце зсув у бік максимально можливого зменшення ризику (підвищення безпеки) на виробництві і у повсякденному житті.

Існують дані про кількісний зв'язок між значеннями ризику і реакцією суспільства на нього, спробами його зменшення (цифри приводяться для США). При ймовірності нещасливих випадків 10^{-3} (на людину в рік) негайно приймаються дії для зменшення небезпеки; при ймовірності нещасливих випадків 10^{-4} (на людину в рік) витрачаються засоби на сигнальні вогні, контроль за вуличним рухом, на пожежних. Ризик порядку 10^{-5} обговорюється, діти попереджаються про небезпеку гри з вогнем, можливості потонути; лікуються подалі від дітей; деякі люди, мирячись із незручностями, не літають на літаках. Ризик з ймовірністю 10^{-8} не занадто хвилює "середню" людину. Оцінка різних видів і ступінь ризику використовуються при організації страхування населення і майна.

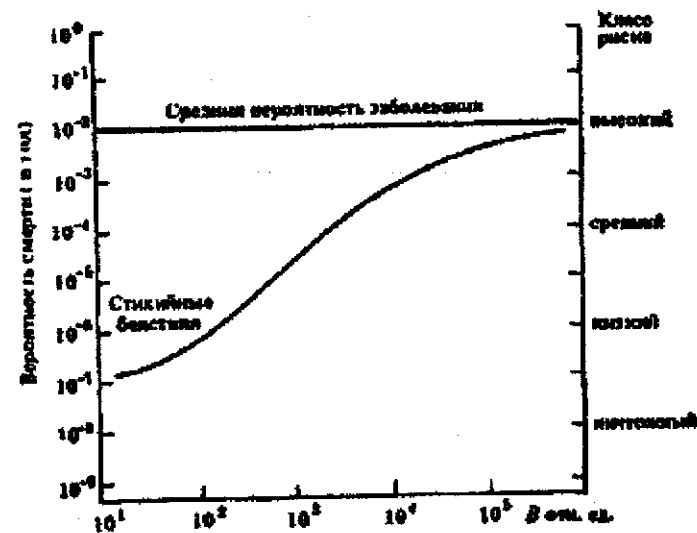
Досвід показує, що люди значно чи спокійніше навіть охочіше йдуть на добровільний ризик, якщо це зв'язано з деякою вигодою (економія часу, зручності, розваги). Так, багато людей, знаючи, що водіння власного автомобіля зв'язано з деякою небезпекою (значно більшою, ніж поїздка на суспільному транспорті), віддають перевагу усе-таки їзді на власному автомобілі. До таких само прикладів відноситься паління, поїздки на полювання і т.д. На мал. 1.4 показана залежність вигода (B)- ризик (R). З малюнка видно, що мається статична залежність $B \sim R^n$, а саме $n=3,0$ для добровільного і змушеного ризику ($n=1,8$ для добровільного ризику, $n=6,3$ для змушеного ризику). З малюнка також ясно, що деякі представники суспільства готові піти добровільно на ризик на два порядки частіше (чи піддатися більшому ризику), чим піддатися змушеному ризику. Звичайно, побудова кількісної залежності вигода-ризик справа дуже складна і спірна, але залежність вигоди чи позитивного ефекту (у відносних одиницях) від ризику (чи назад) побудована може бути легше (мал. 1.5).

При аналізі залежності вигода-ризик величезне значення має аналіз розподілу вигоди і ризику. Ці розподіли можуть не збігатися між собою, особливо в країнах із різним соціальним ладом, із різною системою розподілу матеріальних благ. Це визнається і західними фахівцями. Так, в одній роботі було сказано: "Як вигода, так і ризик можуть бути розсіяні (розпливчасті) чи сконцентровані в просторі, часі, соціальному класі, утруднюючи справедливе рішення". На практиці найбільший конфлікт виникає саме на ґрунті розходження в таких розподілах. Різний розподіл вигоди і ризику в часі і у просторі утрудняє їхню оцінку.

Говорячи про розсіяні і сконцентровані вигоду і ризик, можна вказати на застосування пестицидів, коли ефект від такого застосування виявляється на конкретних полях, а ризик розсіяний, і, навпаки, при роботі на підприємстві із професійною шкідливістю ризик сконцентрований на даному підприємстві, позитивний ефект, вигода для суспільства іноді носить неявний характер.



Малюнок 1.4 – Графік залежності вигода – ризик відповідно до різних методів розрахунку (а) і (б)



Малюнок 1.5 – Осереднений графік залежності вигода-ризик

При вивченні проблеми забруднень навколишнього природного середовища дуже важливим є випадок, коли позитивний ефект виходить швидко, а збиток від забруднень виявляється дуже інерційно, тобто ризик розподілений у часі (хоча можлива і зворотна картина).

Різні підходи до соціальної оцінки ризику (з урахуванням витрат і вигоди) у різних країнах можуть бути продемонстровані на порівнянні норм чи стандартів припустимих концентрацій для великої кількості хімічних речовин (до 169), у виробничому навколишньому середовищі (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Міжнародне порівняння припустимих норм для хімічних речовин у виробничому навколишньому середовищі

Відношення національного стандарту до найнижчого стандарту	США		ФРН		Польща	
	кількість норм	%	кількість норм	%	кількість норм	%
1,00	19	11,2	22	13,8	21	19
1-2	26	15,4	32	20	32	29,1
2-5	42	24,8	30	18,8	27	24,6
5-10	27	16	24	15	7	6,4
10-50	38	22,4	34	21,8	20	18,2
50-200	17	10,2	18	11,2	3	2,7
Усього норм	169	100	160	100	110	100
Відношення національного стандарту до найнижчого стандарту	Швеція		Чехія		Україна	
	кількість норм	%	кількість норм	%	кількість норм	%
1,00	21	26,6	19	27,5	147	87
1-2	15	18,9	21	30,4	13	7,7
2-5	19	24,1	16	23,2	4	2,3
5-10	10	12,6	6	8,7	4	2,3
10-50	12	15,2	6	8,7	1	0,7
50-200	2	2,6	1	1,5	0	0
Усього норм	79	100	69	100	169	100

Примітка. Для кожної хімічної речовини найнижче значення стандарту (найбільш строгого для всіх країн) приймалося рівним 1.

Саме ці норми характеризують перевагу суспільства при оцінці безпеки, вигод і ризику, хоча на зазначених величинах може позначитися різна методологія визначення, різний ступінь вивченості ефектів, що виявляються, (при меншій вивченості необхідно мати більший коефіцієнт запасу).

З табл. 1.2 видно, що найбільш тверді норми встановлені в Україні і це при виділенні достатніх засобів забезпечує безпеку трудящих на виробництві, а реалізація ГДК у природному середовищі – населення в цілому.

Обчислення ризику, його соціальна оцінка важливі для процесів керування, при визначенні пріоритетності у виборі альтернатив для вживання заходів по боротьбі з небажаними наслідками.

Для цих цілей існують різні моделі, що поділяються на раціональні (побудова на науковій основі) і бюрократичні, що враховують роль різних думок супротивників і союзників даних мір, конфліктні ситуації, обов'язкову необхідність прийняти рішення, а в деяких випадках враховувати упереджене відношення, упередженість думок.

Перевірка показує, що в багатьох проектах вигоди переоцінюються, а витрати недооцінюються (як це було у всіх випадках перевірки при оцінці проектів водопостачання в США). При цьому вигоди часто здаються цілком визначеними, а ризик – розпливчастим. Нерідко спостерігається упереджене відношення до неприємності. Так, іноді узгодження простіше одержати в підтвердження спірності чи небажаності якого-небудь твердження, чим в області прийнятності для усіх.

На закінчення необхідно відзначити, що багато з аспектів, що описані виходять за межі фізики і екології, відносяться скоріше до області психології, однак усі зазначені особливості необхідно ретельно враховувати при загальній оцінці ризику. При цьому елементи оцінки ризику – ідентифікація небезпеки, розрахунок ризику і соціальна оцінка накладаються один на одного, тісно зв'язані один з одним.

Тема 1.5. Обґрунтування і класифікація моніторингу антропогенних змін стану природного середовища

При здійсненні моніторингу стану біосфери необхідна організація досить представницької мережі спостережень (вимірів) найбільш важливих факторів впливу, показників стану середовища. У залежності від конкретної задачі моніторингу ці фактори і показники можуть бути різними.

На підставі даного раніше визначення основні задачі моніторингу стану біосфери можна сформулювати в такий спосіб: з одного боку, це спостереження за станом біосфери, оцінка і прогноз її стану, викликані антропогенним впливом; з іншого боку, це визначення ступеня такого впливу (з виявленням антропогенних ефектів) і виявлення джерел і факторів впливу.

Виходячи з цих задач, необхідно, насамперед, відшукувати фактори, що ведуть до найбільш серйозних, довгострокових змін у навколишньому природному середовищі (і джерела таких впливів), а також виявляти елементи біосфери, що найбільш піддані впливу (чи найбільш чуттєві), чи критичні, ключові елементи, ушкодження яких може вести до руйнування екосистем. Для відшукування такого роду факторів і показників можна скористатися формулами типу (1.6) і (1.7).

Оскільки організація спостережень за зміною всіх параметрів громіздка і дуже скрутна, необхідно виділити в підінтегральній частині формули (1.6) найбільш значимі складові, котрі в основному визначають ступінь впливу на навколишнє середовище A_n (чи екологічний збиток). Класифікація факторів впливу і елементів біосфери, який необхідно враховувати при визначенні пріоритетів, приведена в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Класифікація факторів впливу, елементів біосфери, показників і індикаторів їхніх властивостей і стану

Фактори і джерела впливу, їх властивості, елементи біосфери, їх властивості	Компонент (складова частина) формули (1.6)	Примітка
I. 1. Інгрідієнти, фактори впливу їхня інтенсивність, розподіл у просторі і в часі	I_i $I_{ii}(R, t)$	
2. Джерела забруднень, фактори впливу	$q_{ij}(R, t)$ $Q_i(R, t)$	$I_{ii}(R, t) = f(\sum_i \sum_j q_{ij}, \dots)$
3. Властивості речовин і факторів впливу їх хімічні і фізичні перетворення, перехід з одного середовища в інше	$\omega_i(t)$ $\mu_i(t)$	$I_{i+1,i}(R, t) = \omega_i(t) I_{ii}(R, t)$ $I_{i,i+1}(R, t) = \mu_i(t) I_{ii}(R, t)$
4. Властивості речовин і факторів впливу, їхня біологічна ефективність (токсичність і т.д.), ефект синергізму з однорідним фактором впливу $i+k$, ефект синергізму із супутнім фактором q	ε_{ilm} $v_{i,i+k}$ $v_{i,q}$	$I_{ilm}^*(R, t) = I_{ilm}(R, t) \cdot \varepsilon_{ilm} \cdot v_{i,i+k}, \dots, v_{i,q}$
II. Середовище (атмосфера, гідросфера, ґрунт, біота)	I	
III. 1. Елемент біосфери, популяція, екосистема, розподіл організмів у просторі і в часі	m, u $N_m(R, t)$ $u_m(R, t)$	
2. Особливість організму, їхня значимість і чутливість, схильність впливу фактора i , ефекти при впливі на кілька популяцій одночасно	K ε_{ilm} $\xi_{m, m+k}$	
IV. Супутні фактори: 1) властивості середовища: швидкість переміщення консервативних домішок; 2) зовнішні фактори, що впливають на стан систем: температура, вологість, сонячна радіація, мутність атмосфери і т.д.	v_R, w_R, v_D, \dots	$I_{ii} = F(Q_i, v_R, w_R, v_D, \dots)$

Так, у першу чергу, вимагає уваги компонент $I_{ii}(R, t)$ для найбільш шкідливих факторів впливу i у середовищі I , де ці фактори найбільш небезпечні (чи небезпечний їхній перехід із цих середовищ), час t і місце, де I_i досягає найбільших значень. Небезпека впливу визначається в значній мірі фактором ε_{ilm} , отже, облік цієї величини також важливий. Як уже відзначалося, величина I_{ilm}

залежить від джерел впливів, тому контролю найбільш небезпечних джерел $q_{ij}(R, t)$ і $Q_i(R, t)$ повинна бути приділена найсерйозніша увага.

Дуже важливим є облік фактичного розподілу $N_m(R, t)$ чи $n_m(R, t)$ організмів різних популяцій, можливість контакту визначених організмів найбільш важливих чи чутливих популяцій із забрудненнями чи іншими факторами впливу. Ця сторона проблеми далеко не завжди приймається до уваги і нерідкі випадки, коли більш небезпечним (потенційно) факторам впливу, але, що практично не мають контакту з великими контингентами особин, приділяється більш високий пріоритет, ніж не дуже токсичним, але, що впливають на велику кількість організмів. Отже, тільки всебічний розгляд проблеми може привести до правильного результату.

Зовсім очевидно, що необхідна організація спостережень також і за реакцією на вплив біотичної і абіотичної складових біосфери. Результати цих вимірів повинні цілком відповідати (кількісно) фактору b_{ilm} у підінтегральному вираженні формули (1.6), вираженому в одиницях гранично допустимих навантажень. Для абіотичної складової біосфери ця відповідність ще більш очевидна. Як уже указувалося вище, організації спостережень за впливом безпосередньо на людину повинний бути відданий найвищий пріоритет.

Підхід, описаний вище, для визначення пріоритетів при виборі факторів і показників впливу є найважливішим етапом у науковому обґрунтуванні моніторингу. При виборі точок спостереження в просторі і визначенні частоти спостережень необхідно прагнути до того, щоб зміна підінтегральної величини у формулі (1.6) у цих інтервалах була приблизно однаковою.

Необхідно відзначити, що визначення пріоритетів для підсистем моніторингу при рішенні різних задач може привести до різних результатів для того самого фактора впливу. Так, з одного боку, збиток від збільшення CO_2 в атмосфері для будь-якої екосистеми незначний, а в багатьох випадках збільшення CO_2 навіть корисно – воно веде до збільшення продуктивності рослин. З іншого боку, при розгляді можливого впливу на великі системи, наприклад, клімат нашої планети, накопичення CO_2 веде до збільшення парникового ефекту і можливих змін клімату з різними негативними наслідками для біосфери.

Приведемо деякі приклади визначення пріоритетів при організації моніторингу. Так, якщо говорити про території, то вищий пріоритет повинний бути відданий містам, а також зонам, з яких вода використовується для питва, і місцям нерестовищ риб; по середовищах – атмосферному повітрю і воді прісноводних водойм (у першу чергу малопроточних); по інгрідієнтах: для повітря – пилу, двоокису сірки, важким металам (ртуть), окису вуглецю, окислам азоту, бенз(а)пирену і пестицидам; для води – біогенним продуктам, нафтопродуктам, фенолам; по джерелах забруднення (у містах) – автомобільному транспорту, тепловим електростанціям, підприємствам кольорової металургії і т.д.

Як приклад можна привести метод, за допомогою якого визначалася пріоритетність для моніторингу забруднень на Першій міжурядовій нараді по моніторингу в Найробі в 1974 р.

Спочатку були обрані деякі критерії для визначення пріоритетності засновані на властивостях забруднювачів і можливості організації вимірів. Нижче ці критерії приводяться в скороченому виді.

1. Розмір фактичного чи потенційно можливого ефекту на здоров'я, благополуччя людини, на клімат чи екосистеми (сухопутні і водянні).

2. Схильність до деградації у навколишньому природному середовищі нагромадженню в людині і харчових ланцюжках.

3. Можливість хімічної трансформації у фізичних і біологічних системах у результаті чого вторинні (дочірні) речовини можуть виявитися більш токсичними чи шкідливими.

4. Мобільність, рухливість.

5. Фактичні чи можливі тренди (тенденції) концентрацій навколишньому середовищі і (чи) у людині.

6. Частота і (чи) величина впливу.

7. Можливість вимірів на даному рівні в різних середовищах.

8. Значення для оцінки положення в навколишньому природному середовищі.

9. Придатність із погляду загального поширення для рівномірних вимірів у глобальній і субрегіональній програмах.

Велике число забруднень було оцінено в балах (від 0 до 3) по кожному з вироблених критеріїв. По найбільших сумах балів були визначені пріоритети (чим вище сума, тим вище пріоритет). Знайдені в такий спосіб пріоритети потім були розбиті на вісім класів (чим вище клас, тобто менше його порядковий номер, тим вище пріоритет) з указівкою середовища і типу програми вимірів (імпактний, регіональний і "базовий", глобальний). Нижче приводиться результуюча таблиця (табл. 1.4) забруднюючих речовин із указівкою пріоритетів і програм вимірів.

Були також перераховані види вимірів, які варто проводити, коли забруднювач сам по собі важко вимірюється (непрямий моніторинг). Для цього потрібен вимір наступних величин:

а) індикаторів якості води (коло-бактерії, БПК₅, ХПК, синьо-зелені водорості, їхня первинна продуктивність);

б) індикаторів якості ґрунту (солоність, відношення кислотності і лужності, зміст нітритів і органічного азоту, зміст ґрунтових органічних речовин);

в) індикаторів здоров'я людини і тварин, індикаторів поразки рослин (випадки захворювань, генетичні наслідки, чутливість до ліків);

г) рослинних індикаторів забруднень.

Крім того, були перераховані супутні спостереження, необхідні для інтерпретації вимірів забруднювачів, що включають вибіркові метеорологічні, гідрологічні і геофізичні параметри; вид і склад дієти і деякі інші.

Таблиця 1.4 – Класифікація пріоритетних забруднюючих речовин по класах пріоритетності

Клас пріоритетності	Забруднююча речовина	Середовище	Тип програми вимірів
I.	Двоокис сірки плюс зважені частки Радіонукліди ($^{90}\text{Sr} + ^{137}\text{Cs}$)	Повітря Їжа	I, P, Б I, P
II.	Озон ДДТ і інші хлорорганічні з'єднання Кадмій і його з'єднання	Повітря Біота, людина Їжа, людина, вода	I, Б (в стратосфері) I, P I
III.	Нітрати, нітрити Окисли азоту	Питна вода, їжа Повітря	I I
IV.	Ртуть і її з'єднання Свинець Двоокис вуглецю	Їжа, вода Повітря, їжа Повітря	I, P I Б
V.	Окис вуглецю Нафтовуглеводні	Повітря Морська вода	I P, Б
VI.	Флуоріди	Свіжа вода	I
VII.	Азбест Миш'як	Повітря Питна вода	I I
VIII.	Мікротоксини Мікробіологічне зараження Реактивні вуглеводні	Їжа Їжа Повітря	I, P I, P I

Примітка: Б – базовий (глобальний), P – регіональний, I – імпактний.

На даній нараді при визначенні пріоритетних забруднювачів були використані деякі підходи, викладені вище, однак, на жаль, далеко не всі (не було враховано, зокрема, розподіл і кількість організмів, що вступають у контакт із забруднювачами, цей фактор враховувався тільки побічно).

Таким чином, організація моніторингу, навіть організація моніторингу антропогенних забруднень, є винятково складною, багатоплановою задачею. Незважаючи на ряд спроб, не розроблена ще досить повна і досить чітка схема багатоцільового моніторингу антропогенних змін навколишнього природного середовища.

Маються великі пропозиції по розвитку глобальної системи моніторингу в основному ці розробки володіють двома істотними недоліками: по-перше, у пропонованих схемах немає розмежування між діяльністю, задачами вже існуючих геофізичних служб і пропонованою системою моніторингу, по-друге, у цих пропозиціях перелічуються численні відомі параметри, які необхідно вимірювати для аналізу стану середовища взагалі, рідко практично формулюється пріоритетність цих параметрів.

Усе це приводить до того, що запропоновані схеми глобального моніторингу дуже повільно впроваджуються в життя. Однак маються деякі

розробки (у тому числі реалізовані) різних цільових, але окремих систем моніторингу, що створювалися в залежності від вимог, пропонованих життям, наявних можливостей. Прикладом можуть служити системи вимірів забруднення повітря в містах, глобальна система спостережень за випаданням з опадами тритію і інших довгоживучих радіоактивних ізотопів. Можна послатися також на підсистему фонових моніторингу, що організується в даний час на базі біосферних заповідників (про неї докладніше говориться в п. 5.4). Такі підсистеми, безумовно, практично корисні і, як правило, можуть бути модулями повної (глобальної) системи моніторингу, тому їхнє обґрунтування, опис є важливим, а їхній внесок – коштовним при організації системи багатотрієвого моніторингу.

Спробуємо привести класифікацію підходів до створення більш-менш повних схем багатотрієвого моніторингу, а також можливих (чи існуючих) підходів до створення різних підсистем моніторингу.

Як указувалося вище, уже функціонують (чи можуть бути організовані) різні системи спостережень, оцінки і прогнозу стану природного середовища обмежених (локальних) по своєму розміру і значеннєвій спрямованості масштабах. Такі підсистеми часто вирішують окремі конкретні задачі. Вони можуть розглядатися як частина досить повної системи моніторингу, спрямованої на рішення задач оцінки антропогенних змін у біосфері виявлення причин, джерел таких змін (чи змін, можливих у майбутньому).

Перш ніж перейти до класифікації існуючих чи можливих систем моніторингу, розглянемо деякі універсальні підходи.

Найбільш універсальним підходом є організація глобальної системи моніторингу з одночасним рішенням усіх виникаючих при цьому задач. Тут безумовно, можна виділити моніторинг антропогенних забруднень антропогенних впливів і змін, не зв'язаних із забрудненням.

Другий напрямок звичайно включають в екологічний моніторинг очевидно, що моніторинг забруднень і зв'язаних із ним ефектів, що виникають у біосфері (і в першу чергу реакцій біоти), також, безумовно, є складовою частиною екологічного моніторингу. Другий напрямок нерідко зв'язують використанням природних ресурсів і у зв'язку з цим із впливом на природу людини, а також із впливом на людську діяльність природних, стихійних процесів (і впливом людини на розвиток цих процесів).

Такий підхід знайшов відображення у формулюванні Глобальної системи моніторингу навколишнього середовища (ГСМНС), що розроблюється по лінії ЮНЕП і в міжнародній програмі дій цієї організації. Однак на Першій міжурядовій нараді по моніторингу (Найробі, 1974 р.) першочерговим пріоритетним напрямком у системі глобального моніторингу був визначений моніторинг забруднень навколишнього природного середовища і зв'язаних з ним факторів впливу.

Спостереження передбачається здійснювати на імпакті (рівні сильного впливу в локальному масштабі), регіональному і фоновому "базовому" рівнях.

Як уже відзначалося, при здійсненні настільки універсальної системи моніторингу зовсім необхідно знати фоновий стан біосфери (як у даний час, так і в період до помітного впливу людини).

Фоновий глобальний стан біосфери передбачається вивчати на так званих фонових "базових" станціях, що організуються в ряді країн, зокрема, в Україні на базі біосферних заповідників.

На мал. 1.6 показане розташування фонових базових і регіональних станцій ВМО по виміру забруднення атмосфери і біосферних заповідників.

Фоновий стан середовища в минулому до початку впливу людини можна відновити за даними аналізу кілець старих чи вже загиблих дерев, проб річних шарів льодовиків, донних відкладень (так званий історичний моніторинг, чи палеомоніторинг).

Безумовно, універсальний підхід відбиває формулювання національного моніторингу стану природного середовища в рамках окремої країни.

При класифікації різних підходів, при орієнтації підсистем моніторингу для здійснення визначених цілей доцільно виділити підсистему спостережень (оцінки і прогнозу) за реакцією основних складових біосфери: абіотичної складової (геофізичний моніторинг) і біотичної складової (біологічний моніторинг).

До геофізичного моніторингу відноситься визначення реакції абіотичної складової як у мікро-, так і макромасштабі аж до реакції і визначення стану великих систем – погоди і клімату. Сюди ж відноситься моніторинг необхідних для інтерпретації даних про забруднення, мутність атмосфери, вибіркового метеорологічних і гідрологічних характеристик середовища. До цієї підсистеми моніторингу потрібно віднести і моніторинг різних елементів неживої складової біосфери, у тому числі конструкцій, будинків, створених людиною.

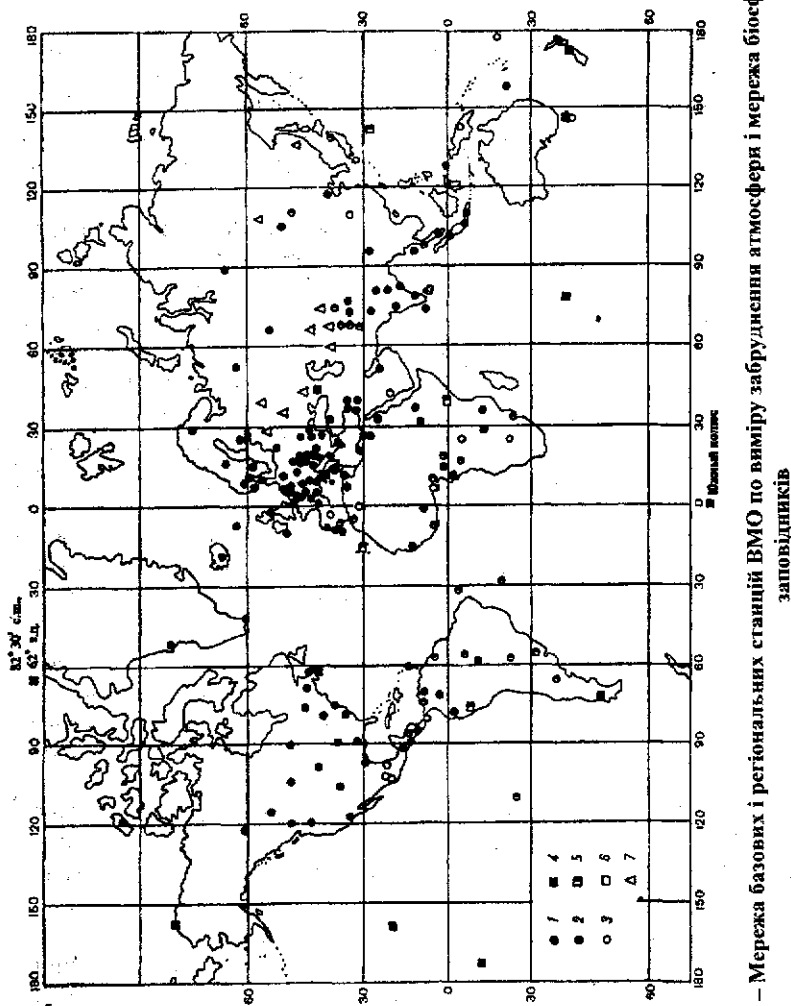
Основною задачею біологічного моніторингу є визначення стану біотичної складової біосфери, її відгуку, реакції на антропогенний вплив, визначення функції стану і відхилення цієї функції від нормального природного стану на різних рівнях: молекулярному, клітинному, організменному, популяційному, рівні співтовариства.

Дослідження змісту різних інгредієнтів у біоті лише умовно можна віднести до біологічного моніторингу. Це питання відноситься до виміру забруднювачів у різних середовищах. До біологічного моніторингу можна віднести також спостереження за станом біосфери за допомогою біологічних індикаторів.

Біологічний моніторинг включає моніторинг живих організмів-популяцій (по їх числу, біомасі, щільності та іншим функціональним і структурним ознакам), що піддані впливу. У цій підсистемі моніторингу доцільно виділити наступні спостереження:

а) за станом здоров'я людини, впливом навколишнього середовища на людину (медико-біологічний моніторинг);

б) за найважливішими популяціями як із погляду існування екосистеми, що характеризує своїм станом благополуччя тієї чи іншої екосистеми, так і з погляду великої господарської цінності (наприклад, коштовні сорти риб);



Малюнок 1.6 – Мережа базових і регіональних станцій ВМО по виміру забруднення атмосфери і мережа біосферних заповідників

Регіональні станції: 1 – діючі, 2 – заплановані (з визначеним положенням), 3 – пропонувані (без визначеного положення).

Базові станції: 4 – діючі, 5 – заплановані (з визначеним положенням), 6 – пропонувані (без визначеного положення), 7 – станції фонових комплексного моніторингу на території біосферних і інших заповідників.

в) за найбільш чутливими до даного виду впливу (або до комплексного впливу) популяціями (наприклад, рослинність до впливу двоокису сірки) чи за "критичними" популяціями стосовно даного впливу (наприклад, зоопланктон епішура в оз. Байкал до скидань целюлозних підприємств);

г) за популяціями-індикаторами (наприклад, лишайники).

Особливе місце в біологічному моніторингу повинний зайняти генетичний моніторинг (спостереження можливих змін спадкоємних ознак у різних популяцій).

Екологічний моніторинг є, очевидно, більш універсальним, що охоплює питання і біологічного, і геофізичного моніторингу в їхньому тісному зв'язку. Це особливо важливо, коли спостереження здійснюються на рівні екологічних систем.

Існує і інша класифікація. Моніторинг підрозділяється на три ступіні: перша ступінь – біоекологічний (санітарно-гігієнічний) моніторинг, що включає спостереження за станом навколишнього середовища з погляду її впливу на стан здоров'я людини; друга ступінь – геоєкологічний, геосистемний, природо-господарський моніторинг, що поширюється на спостереження за зміною природних екосистем, перетворенням їх у природно-технічні; третя ступінь – біосферний моніторинг, що охоплює спостереження за параметрами біосфери в глобальному масштабі.

Дуже важливим із погляду практичних дій при організації моніторингу в будь-яких масштабах, із будь-якими цілями (наприклад, при організації національного моніторингу) є моніторинг забруднюючих речовин і інших факторів впливу в різних середовищах.

Моніторинг у різних середовищах (різних середовищ) включає:

- моніторинг приземного шару атмосфери і верхньої атмосфери; моніторинг атмосферних опадів;
- моніторинг гідросфери, тобто поверхневих вод суші (рік, озер і водоймищ), вод океанів і морів, підземних вод;
- моніторинг літосфери (у першу чергу, ґрунту). Можливо виділити моніторинг атмосфери, океану, поверхні суші (із ріками і озерами), кріосфери (складових кліматичної системи).

Моніторинг змісту різних речовин у живій складовій біосфери (біоті) також може бути віднесений до цього виду моніторингу.

Особливу увагу потрібно звернути на переходи різних речовин з одного середовища в інше при переносі, поширенні і міграції забруднюючих речовин.

Не менш важливою з' практичної точки зору є класифікація систем моніторингу по факторах і джерелам впливу.

Моніторинг факторів впливу – моніторинг різних забруднювачів (інгредієнтний моніторинг) і інших факторів впливу, до яких можна віднести електромагнітне випромінювання, тепло, шуми.

Тут, у першу чергу, моніторингу повинні бути піддані найбільш шкідливі фактори впливу, токсичні речовини, найбільш стійкі і рухливі (мобільні), що мають токсичні дочірні продукти, що утворюються при розпаді і перетвореннях, і небезпечні при впливах у сполученні з іншими речовинами. Очевидно,

13. Критерії для визначення пріоритетності спостережень у різних підсистемах моніторингу.

14. Проблеми допустимості екологічного ризику.

МОДУЛЬ 2. ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ

Тема 2.1. Екологічний моніторинг – комплексний моніторинг біосфери

Екологічний моніторинг є комплексною підсистемою моніторингу біосфери; він включає спостереження, оцінку і прогноз антропогенних змін стану абіотичної складової біосфери (у тому числі зміни рівнів забруднення природних середовищ), відповідної реакції екосистем на ці зміни і антропогенні зміни в екосистемах, змін, зв'язаних із впливом забруднення сільськогосподарським використанням земель, вирубкою лісу, урбанізацією т.п. Таким чином, екологічний моніторинг містить у собі як біологічний, так геофізичний (фізичний) аспекти. Необхідною умовою успішного функціонування екологічного моніторингу є вимога, щоб як кінцевий результат з'явилася оцінка і прогноз стану екосистем, оцінка екологічної рівноваги екосистемах.

Дана вимога і відрізняє систему екологічного моніторингу від інших підсистем моніторингу біосфери, моніторингу природного середовища, наприклад, кліматичного моніторингу. Кліматичний моніторинг і екологічний моніторинг мають багато спільного, для обох характерна широта охоплення елементів біосфери. Так, кліматичний моніторинг включає моніторинг стану кліматичної системи (атмосфера – океан – поверхня суші – криосфера – біота). Однак у кліматичному моніторингу передбачається лише збір таких даних, що остаточному підсумку дозволять оцінити можливі зміни клімату (у даному прикладі необхідно знати лише стан біоти, що впливає на зміну альбедо поверхні, що підстилає).

Особливе значення екологічний моніторинг набуває для оцінки стану біосфери в широких масштабах, аж до глобального.

Саме тому розробка теорії моніторингу з погляду оцінки стану біосфери на фоновому глобальному і регіональному рівнях одержала в останні роки широкий розвиток. Ці питання були підняті під час обговорення програми ЮНЕСКО "Людина і біосфера" ("Дослідження забруднення навколишнього природного середовища і його впливу на біосферу" на симпозіумі по проекту "Біосферні заповідники" [1]; і були більш детально сформульовані основні напрямки екологічного моніторингу і програма їхнього здійснення. У ній міститься пропозиція про організацію спеціальної, постійно діючої екологічної служби, що відповідає усім вимогам екологічного моніторингу. У Глобальній системі моніторингу навколишнього середовища (ГСМНС) екологічному моніторингу приділяється визначена увага. Сформульовано, що екологічний моніторинг повинний бути зв'язаний із двома основними задачами ГСМНС:

1) оцінкою критичних проблем, що виникають у результаті сільськогосподарської діяльності і землекористування;

2) оцінкою реакції наземних екосистем на вплив навколишнього природного середовища.

Практично в глобальній системі, що передбачена Програмою ООН із проблем навколишнього середовища (ЮНЕП), під екологічним моніторингом розуміється моніторинг ресурсів біосфери, що поновлюються. До екологічного моніторингу віднесений також моніторинг стану ґрунту, рослинного покриву, водних ресурсів (гідрологічний цикл), морських ресурсів, моніторинг біосфери (біотичної складової).

У рамках глобального моніторингу обговорюється проблема оцінки відповідних реакцій морських і наземних екосистем на вплив навколишнього середовища, що, безумовно, є найважливішою складовою частиною екологічного моніторингу. Для оцінки впливу на наземні екосистеми у великих масштабах може бути використана, наприклад, інформація про зміну площі тропічних і листяних лісів. Очевидно, що такі дані мають важливе значення і для моделі глобального циклу вуглецю.

Зважається також, що досить представницькі спостереження за циркуляцією речовин, що викидаються в атмосферу і потім осідаючих на поверхню, що підстилає, можна організувати на порівняно невеликій кількості станцій (9-12).

Для оцінки критичних проблем, зв'язаних із практикою сільського господарства і землекористування, передбачається робити періодичне картування міських районів, районів опустелювання, вирубки і насаджень лісів, прибережних зон, зрошуваних і незрошуваних сільськогосподарських земель, районів вічної мерзлоти, заболочених земель, відкритих гірських розробок. Очевидно, що райони опустелювання можуть служити індикаторами кліматичних змін – зміна їхньої площі веде до зміни альбедо земної поверхні; райони вирубки і насаджень лісів важливі для оцінок альбедо і круговороту біогенних речовин; прибережні зони дуже піддані впливу людини; сільськогосподарські землі прямо зв'язані з виробництвом продовольства, баланс зрошуваних і незрошуваних земель впливає на гідрологічний цикл, збереження і родючість ґрунту. Райони вічної мерзлоти є індикаторами зміни клімату; заболочені землі цікаві як індикатори зрушень у гідрологічному циклі.

Програма екологічного моніторингу фонових забруднень біосфери і відгуку біологічних систем на ці забруднення докладно розглядається в темі 2.3.

Пропонується організувати контроль за станом еталонних природних екосистем і за їхнім антропогенним перетворенням, а також зіставлення регіональних характеристик стану природного середовища для їхнього узагальнення до значень, що характеризують глобальний стан.

Під час обговорення функціональних характеристик еталонних природних систем і їхніх антропогенних змін основна увага приділяється біотичним і ґрунтовим компонентам природних екосистем, спостереження за станом яких повинно супроводжуватися вимірами радіаційного балансу, теплового і водного режимів середовища і інших показників, що

характеризують фізичний стан середовища. Необхідно також здійснювати спостереження за екосистемами, підданими в різному ступені антропогенному впливу, – від заповідних до екосистем, що формуються після істотно спрямованого чи ненаправленого впливу з боку людини.

Як інтегральні показники, що характеризують зміни в екологічній рівновазі, передбачається вибрати наступні: збалансованість біологічної продуктивності (відношення первинної біологічної продукції до вторинної швидкості утворення біологічної продукції (відношення продуктивності загальної біомаси) і інтенсивність круговороту біогенних речовин.

При організації спостережень за зміною стану екосистем у цьому плані необхідно в першу чергу приділити увагу можливим антропогенним порушенням і перебудові в умовах ведення лісового господарства, землеробства і тваринництва.

Поряд із можливою зміною стану екосистем у цілому (обумовленою інтегральними ознаками, наприклад, по зміні площі лісів), дуже важливо звернути увагу на реакції біологічних систем на антропогенний вплив на рівні організмів, популяцій, співтовариства. При цьому необхідно ретельно вивчати різні впливи (і в першу чергу забруднень), міграцію і трансформацію забруднювачів поряд з біологічними ефектами впливу таких забруднювачів. Так, для рішення основних задач програми "Людина і біосфера", що полягають в оцінці існуючого стану природного середовища і прогнозованих екологічних трендів під впливом забруднень були сформульовані наступні підходи.

1. Виявлення індикаторів стану навколишнього середовища, які відбивають зміни в екосистемах, зв'язані з впливом забруднень, включаючи вироблення критеріїв і методології для добору тест-організмів.

2. Визначення залежності "доза-відповідна реакція", що одержується шляхом польових спостережень і лабораторних експериментів.

3. Аналіз шляхів і процесів трансформації, включення в круговорот забруднювачів в екосистемах.

Для цих цілей передбачається використовувати результати хімічних біологічних вимірів.

Біологічний моніторинг, нерозривно зв'язаний з моніторингом екологічним і є його складовою частиною, обговорюється в цьому ж розділі.

Як було відзначено, задачею екологічного моніторингу є виявлення екосистемних змін антропогенного характеру (на фоні природних флуктуацій). Вирішити цю задачу можна різними методами, заснованими як на окремих вимірах деяких характеристик забруднень біоти і її реакції, так і на безупинних вимірах інтегральних показників на дуже значних територіях. Ці методи будуть також описані в даній главі. Тут же приведемо деякі приклади і підходи, які випереджають виклад принципів екологічного моніторингу, у яких головна увага буде звернена на відгуки і реакцію екосистем на антропогенні впливи найважливішу основу екологічного моніторингу.

Так, одним із найбільш розповсюджених антропогенних впливів на екосистеми озер і водоймищ є процес евтрофікації, при якому прискорюється їхнє старіння. До цього процесу веде збільшення біогенних і органічних

речовин (у першу чергу, речовин, що містять азот), що попадають у водойми шляхом змиву із затоплених ґрунтів, сільськогосподарських полів добрив і з комунальними стоками. В міру збільшення "цвітіння" води (збільшення кількості синьо-зелених водоростей) у воді зменшується зміст кисню; це приводить до скорочення чисельності деяких популяцій, найбільш чутливих до відсутності потрібної кількості кисню, і появи токсинів. Таким чином, спостереження за показниками, що характеризують евтрофікацію водойм, – важливий елемент екологічного моніторингу.

Іншим прикладом ефекту антропогенних впливів, що виявляється за допомогою екологічного моніторингу, є закислення поверхневих вод (і ґрунтів) у результаті випадання кислотних дощів (при емісії величезної кількості SO_2 в атмосферу).

При $\text{pH} < 5,8$ у водоймах зникають багато діатомових і зелених водоростей; представники зоопланктону – дафнії – зникають уже при $\text{pH} < 6,0$. Збільшення змісту іона SO_3^{2-} в опадах до $0,6 \text{ млн.}^{-1}$ приводить до значень $\text{pH} = 4,6$. У результаті такого ефекту в багатьох досліджених озерах Швеції pH зменшилося до $6,0-5,0$. Відтворення риби випробує помітний вплив при $\text{pH} < 5,5$. Піскар, голец і форель цілком зникли з багатьох озер із закисленою водою. Маються приклади серйозних екологічних наслідків у результаті появи детергентів у стічних водах.

Водяні екосистеми, у яких живі компоненти представлені в основному водоростями і найпростішими, як правило, швидко реагують на забруднення. Ця реакція виражається або в зменшенні числа наявних видів, або в зміні розподілу чисельності особин по видах (у незбуреній системі такий розподіл нерідко близько до нормально-логіфічного). При цьому можливо як зменшення, так і збільшення чисельності окремих видів (останнє случается в більш толерантних видів унаслідок зменшення конкуренції). Замічене також зменшення в річкових і озерних екосистемах у результаті їхнього забруднення стічними водами кількості моллюсків, в естуаріях – кількості членистоногих.

Очевидно, що така реакція екосистем також може бути використана при організації екологічного моніторингу і впровадженні біотестування.

Таким чином, в водяних екосистемах для виявлення впливів нетоксичних органічних і неорганічних речовин може бути використаний процес евтрофікації, що супроводжується збільшенням біомаси синьо-зелених водоростей, зникненням чи зменшенням кількості різних організмів через нестачу кисню і появу продуктів розкладання планктону, токсинів синьо-зелених водоростей, збільшенням гетеротрофної частини біоценозу.

У випадку теплового забруднення водойм варто звернути увагу на наступну відповідну реакцію екосистем: заміна діатомових співтовариств на зелені і синьо-зелені водорості, зменшення видової розмаїтості найпростіших. У випадку токсичних речовин і радіоактивних ізотопів звертає увагу біоконцентрація в одноклітинних організмах, скорочення видової розмаїтості, чисельності особин багатьох видів.

Специфічним є забруднення морського середовища, Світового океану.

Забруднюючі речовини, що надходять у світовий океан, нерівномірно розподіляються в ньому, і утворюють області підвищеного забруднення екологічних зонах із максимальною біомасою. У результаті цього можливі перетворення природних біоценозів, зниження біологічної продуктивності.

Найбільшу потенційну небезпеку викликають такі забруднювачі, як нафта і її продукти (поліциклічні ароматичні вуглеводні), важкі метали (ртуть, свинець, кадмій, мідь, цинк), хлоровані вуглеводні. Наприклад, зміст нафтопродуктів у Тихому океані досягає 200-300 млрд.⁻¹, у великих зонах океану спостерігається нафтова плівка чи нафтові грудочки.

Тонкий приповерхній мікрошар океану є колектором багатьох забруднюючих речовин, а виникнення плівок впливає на газо- і теплообмін, проникнення світла, що може привести до екологічних і кліматичних змін.

Важкі метали поширені в основному в прибережних і шельфових зонах океану.

Коефіцієнти нагромадження важких металів у планктоні складають 10^4 , концентрації у промислових рибах – у Тихому океані до 60 млрд.⁻¹, Балтійському морі – на порядок вище. В океан надходить значна кількість ДДТ, його похідних і поліхлорованих біфенілів (ПХБ) (основним каналом такого надходження є атмосферний перенос).

Утримування ПХБ у морській воді (у східній частині Атлантики) у 20 разів вище змісту ДДТ; ПХБ має велику стійкість, чим ДДТ. Коефіцієнт нагромадження ПХБ мікропланктоном складають $1,7 \cdot 10^5$; у морської флори виявлена здатність розвиватися в присутності ПХБ в умовах соокислення. Виникає можливість адаптації мікрофлори до хлорованих вуглеводнів. Аналогічно деякі мікроорганізми адаптувалися і до іншого найнебезпечнішого забруднювача моря – канцерогенного бенз(а)пирена (БАП), придбали здатність його руйнувати, використовуючи як джерело вуглецю.

Коефіцієнти нагромадження БАП у гідробіонтах Берингова моря склали $2,9 \cdot 10^3$, у Середземному морі – у 5 разів більше.

Гострою є проблема мікробіологічного забруднення і евтрофікування морського середовища, особливо в прибережних зонах.

Відзначимо, що особливості забруднення морського середовища можливі використовувати при організації морського моніторингу.

Вплив забруднень на наземні екосистеми також супроводжується змінами, що можуть бути використані як специфічні показники при екологічному моніторингу. Так, може спостерігатися зменшення видової розмаїтості і зміна розподілу особин по видах. Під впливом кислотних опадів збільшується кислотність ґрунту. Виникаючи при цьому підвищена рухливість ряду іонів (алюмінію, марганцю, заліза та ін.) приводить до їхнього перерозподілу, зниження рН може змінити ґрунтову мікрофлору і нанести ушкодження навіть вищим рослинам. Забруднення ґрунтів істотно впливає на її фізико-хімічні властивості, структуру, продуктивність. Особливо страждають ґрунти від кислотних опадів. При підвищенні кислотності ґрунтів зменшується швидкість розкладання органічних сполук, знижується продуктивність азотфіксуючих бактерій. Добре відомі випадки безпосередніх ушкоджень рослинності

кислотними опадами. Кислотні опади, потрапляючи на кору дерев, ушкоджують лишайникові види, що ростуть на корі. Тому що лишайники, поглинаючи азот, переносять його рослинам, цей ефект може привести до зміни азотного циклу, азотного балансу екосистем, а нагромадження сірки – до порушення її біогеохімічного циклу.

Поширення важких металів також негативно позначається на стані рослинності (як за рахунок осадження шкідливих речовин на листі, так і за рахунок кореневого надходження).

Улучення забруднюючих речовин у рослинні організми викликає в них пороки розвитку вегетативних і репродуктивних органів і утворюючих їх тканин і клітинних апаратів.

Улучення забруднюючих речовин у навколишнє середовище в значних кількостях (наприклад, окислів сірки і азоту) може привести до дуже серйозних екологічних наслідків.

Так, із початку 70-х років 20-го сторіччя в Європі в результаті істотного забруднення атмосфери і випадання кислотних дощів спостерігається поразка деревної рослинності – ялиці, ялини, сосни і ін. Дослідження, проведені у ФРН, показали, що в 1982 р. 8% лісових територій були оцінені як потерпілі, а в 1983 р. (з обліком незвичайно сухого літа) до потерпілих було віднесено 34% лісових насаджень. Спостерігалось пожовтіння і обпадання хвої, недорозвиненість утєч, обрідження крони, поразка рослинності мікозом.

Перераховані ефекти можуть служити біологічними показниками при здійсненні моніторингу, причому нерідко ефекти, малопомітні при вивченні окремого організму чи виду, виявляються при розгляді стану системи в цілому. Саме ця особливість підкреслює їхню важливість для екологічного моніторингу.

При побудові екологічного моніторингу необхідно приділити увагу організації спостережень за можливими змінами при різній інтенсивності впливу; особлива увага повинна бути приділена екологічному моніторингу на фоновому рівні.

Зміни стану біосфери, що виявляються на великих територіях (навіть незначного рівня), можливо спостерігати дистанційними методами, у тому числі за допомогою супутникових систем.

Тема 2.2. Екологічний моніторинг на різних рівнях впливу

Екологічний моніторинг біосфери передбачає моніторинг антропогенних змін природного середовища в комплексі з моніторингом ефектів, що викликані ними, а також моніторингом факторів впливу. Екологічний моніторинг повинний враховувати всі основні зміни, що викликані будь-якими антропогенними впливами на фоні природної мінливості (як це уже відзначалося вище).

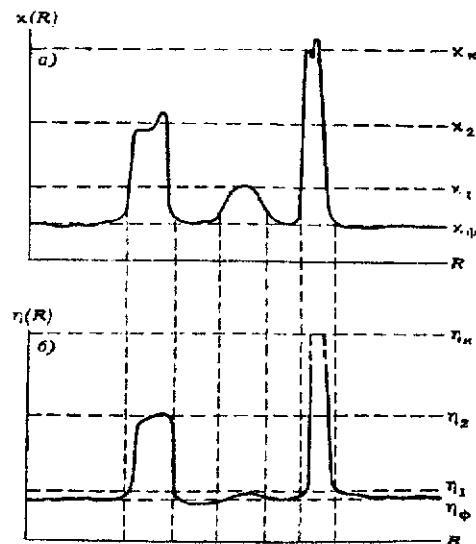
Антропогенні впливи на біосферу розподілені по земній кулі вкрай нерівномірно; з одного боку, маються зони, де такі впливи майже відсутні (центральна частина Антарктиди, південна частина Південного океану, великі заповідні території на різних континентах), а, з іншого боку – в окремих місцях земної кулі антропогенний вплив досяг такого рівня, що первісні екосистеми,

рельєф, навіть характер місцевості змінені цілком (райони інтенсивного розвитку промисловості, особливо відкритих розробок родовищ, райони інтенсивного ведення сільського господарства, урбанізовані території); у природних середовищах таких районів у великих кількостях з'явилися домішки (хімічні речовини), що цілком відсутні в природі при її природному стані.

Завдання полягає в організації екологічного моніторингу з урахуванням чергування такого роду різних місць (іноді рознесених на дуже великі відстані) де навантаження за рахунок антропогенних впливів (вимірюваних інтенсивністю різних факторів впливу) міняється на багато порядків. У районах інтенсивного антропогенного впливу зазначеним факторам відповідають реакції, відгуки екосистем.

На мал. 2.1 показані залежності інтенсивності факторів впливу (наприклад, концентрації забруднюючих речовин у повітрі) і ефекту впливу (відгуку екосистеми) (наприклад, реакції хвойних і листяних дерев на вплив двоокису сірки і сірчаної кислоти в опадах) на різних відстанях від джерела впливу (у будь-якому напрямку).

З мал. 2.1 видно, що фоновому рівню забруднення η_{ϕ} (по SO_2 – дуже низькому) відповідає дуже низький рівень біологічних ефектів, що виявляються, (наприклад, для листяних дерев – окремі дрібні uszkodження листя).



Малюнок 2.1 – Зміна інтенсивності фактора впливу χ (а) і відгуків екологічної системи η (б) з відстанню

Більш великим величинам χ_1 і χ_2 відповідають більш великі значення η_1 і η_2 (сумарний ефект може бути і нелінійний). Вплив χ_3 перевищує критичний (такий вплив є неприпустимим) – йому на мал. 2.1б відповідає $\eta(R) > \infty$, тобто руйнування екосистеми, у даному випадку усихання хвойних чи листяних лісів.

Задачею екологічного моніторингу є спостереження за факторами впливу і відгуками (реакцією) екосистеми і оцінка змін, що спостерігаються у біосфері, зв'язаних з цими впливами, у сьогоденні і майбутньому на різних рівнях впливу:

- на фоновому глобальному і регіональному рівнях (величина $\chi_{\phi} > \eta_{\phi}$ може бути визначена як середній розмір мінімального рівня, що превалює в недоторканих чи щодо недоторканих людиною місцях);
- на проміжних рівнях ($\chi_1, \chi_2 > \eta_1, \eta_2$);
- у місцях "високих" рівнів впливу ($\chi_k > \eta_k$).

Важливими є проведені оцінки можливого впливу на проміжних і критичних рівнях не тільки на екосистему в районах безпосереднього впливу, але і на всю біосферу в цілому (наприклад, для відновлення чи заміни вибулих елементів біосфери буде потрібна витрата частини резервів екосистем сусідніх з ушкодженим районів); зони з ушкодженою чи зруйнованою екосистемою можуть поступово негативно впливати на екосистеми сусідніх ділянок (прикладом такого впливу є наступ пустель, вторинне забруднення, причиною якого є забруднення на сусідніх ділянках і т.п.).

Тому, якщо розглядати зміну реакції екосистем η не тільки в просторі, але і в часі, буде потрібно визначення значення η_{ϕ} у глобальному і регіональному масштабах (у майбутньому, строго говорячи, до нескінченності).

Задача здійснення екологічного моніторингу на всіх рівнях впливу в глобальному і регіональному масштабах надзвичайно складна.

В даний час здійснюється моніторинг окремих факторів впливу і стан окремих підсистем біосфери лише на обмежених територіях. Деякі фонові спостереження проводяться тільки по окремих факторах впливу і невеликому числу реакцій біосфери; одержувані дані про фонові рівні не завжди обґрунтовано екстраполюються на великі території чи на територію земної кулі в цілому; спостереження в зонах високого навантаження на навколишнє середовище здійснюються також за окремими показниками (головним чином за рівнем забруднення) для вживання екстрених заходів у випадку явної неприпустимості і деяких планових заходів для зниження "проміжних" навантажень.

Спостереження за станом екосистем у зонах високого навантаження здійснюються на порівняно невеликій кількості природних об'єктів головним чином для дослідницьких цілей.

Організація регулярного екологічного моніторингу в зоні високих антропогенних впливів – самостійна і винятково важлива задача.

Організація екологічного моніторингу на фоновому рівні (глобальному і регіональному) – не менш важлива задача. Як уже відзначалося, для цього необхідно не тільки установити кількісні залежності між факторами впливу і відповідних реакцій екосистем, але і ретельно вивчити зміни цих залежностей у

часі за рахунок описаних вище ефектів (ефекти впливу сусідніх і більш далеких зон з істотно зміненими умовами в результаті інтенсивних впливів). Може виявитися, що в цих умовах вплив якого-небудь забруднення з колишньою концентрацією приведе до зовсім іншого відгуку з боку біологічної системи (через зміни температури, вологості, ступеня забруднення чи інших характеристик середовища).

Як відзначалося, у рамках екологічного моніторингу повинні проводитися спостереження (і вивчення) за змінами стану абіотичної і біотичної складових біосфери на різних рівнях — імпульсному (коли вплив досягає істотних значень), регіональному (проміжному) і фоновому (глобальному і регіональному).

Для здійснення моніторингу антропогенних змін природного середовища необхідно вибрати (визначити) найбільш представницькі (із погляду змін, що відбуваються, чутливості до змін) види (елементи) в екосистемі, ознаки відгуки. Для цих цілей потрібно вивчити характер відгуків елементів біосфери на антропогенні впливи — за допомогою натурних і лабораторних експериментів, математичного моделювання і ретельного аналізу результатів польових спостережень.

Польові спостереження. Спостереження факторів антропогенного впливу і біологічних відгуків, аналіз результатів цих спостережень дозволяють виявити (за обраними показниками) основні тенденції до зміни стану екосистем. Довгі ряди спостережень допомагають визначити швидкості (темпи) таких змін і виділити ті показники, у яких швидкість зміни особливо висока, що може вказувати на небажаність чи навіть критичність ситуації, що створилася.

Відшукати характер залежності між різними факторами впливу біологічними відгуками систем — дуже складна задача. При наявності великого комплексу факторів впливу аналіз результатів тільки польових спостережень надзвичайно громіздким і не завжди може привести до однозначного рішення виявленню істинних причин змін. Без сумніву, це пояснюється складністю комбінованого і комплексного впливу на біологічну систему багатьох одночасно діючих факторів і низьких фонових рівнів впливу.

Експериментальні дослідження. Як стратегічну основу при вивченні аналізі впливу різних факторів на складні біологічні системи пропонується проведення багатфакторного експерименту (обґрунтованого математично і економічно), що використовує прийоми і методи, розроблені для систем "поганою структурою". Такий експеримент дає можливість одночасного незалежного аналізу великої сукупності факторів, що впливають на біологічні системи. Задачею експерименту є дослідження ймовірних (очікуваних) ситуацій, прогнозованих на підставі існуючих тенденцій до змін навколишнього середовища. Для визначення рівнів відібраних перемінних при постановці експерименту доцільно задатися деяким критерієм, наприклад сталістю швидкості зміни величин відібраних перемінних (концентрації забруднюючих речовин, які-небудь показники стану середовища).

За допомогою такого експерименту можна моделювати реальні ситуації з змінним станом середовища, що можливі в майбутньому, виявити окремі

фактори, що відповідають за такі зміни, наприклад, евтрофікацію водойм за рахунок надходження з'єднань азоту і фосфору і ін.

Математичне моделювання. Установлення залежності "вплив-відгук" у складних екосистемах, визначення ступеня антропогенного впливу можливі шляхом побудови математичної моделі (так само як для визначення антропогенного впливу на клімат). Такі моделі дозволяють досліджувати чутливість екосистеми до зміни того чи іншого фактора, що впливає.

Зазначений підхід застосовується до впливу забруднень на екосистему (у тому числі на фоновому рівні). Передбачається, що чисельні значення коефіцієнтів у таких моделях можна визначити за допомогою лабораторних експериментів.

Створені імітаційно-балансові математичні моделі природних екосистем дозволяють прогнозувати майбутнє цих систем, однак лише на періоди менш сукцесійних.

Оскільки зазначені імітаційні моделі не враховують реакцій біоти на антропогенні впливи протягом тривалого часу, вони можуть приводити до істотних помилок.

Запропонована також більш універсальна модель, що володіє блоком екзогенної сукцесії (для прогнозування відгуків екосистеми на вплив, для інтервалів часу більш сукцесійних).

При такому підході динаміка системи біологічних видів моделюється системою різницевих рівнянь

$$x_i(t+1) = K_i [x_i(t), \dots, x_N(t); a_j, \dots, a_N; u] \cdot x_i(t), \quad (2.1)$$

де $x_i(t)$, $x_i(t+1)$ — чисельність (чи інша величина, що характеризує біомасу) i -ї популяції у моменти часу t і $t+1$ відповідно;

$a_j = (a_j^1, \dots, a_j^k)$ — векторний екологічний параметр, що характеризує стан j -го виду;

$u = (u_1, \dots, u_k)$ — векторний параметр, що характеризує стан елементів абіотичної складової середовища (комплекс гідрометеорологічних, геохімічних і інших характеристик) чи фактора впливу;

K_i — коефіцієнт розмноження i -го виду.

Екологічні параметри характеризують такі властивості особин, як плідність, резистентність до різних біотичних і абіотичних факторів смертності.

Траєкторії системи рівнянь (2.1) при моделюванні природних екосистем повинні мати визначену стійкість — коливання чисельності (щільності) кожного з видів повинні бути обмежені. У противному випадку виникає неприпустима для розгляду ситуація — випадання якого-небудь виду з екосистеми (це буде означати утворення нової, перетвореної екосистеми).

Клімаксий стан має стійкість стосовно можливих перебудов генофонду — кожний особень максимально пристосований до сформованих в екосистемі умов. Середній геометричний коефіцієнт розмноження таких особин дорівнює одиниці, а будь-яких інших (наприклад, нових), не настільки пристосованих, складає менш одиниці.

Це властивість клімакських екосистем формалізується у виді принципу оптимальності, при якому реальні параметри a_i^r доставляють максимум функціоналу

$$\varphi_i(a_i) = \tilde{K}_i [x_i(t), \dots, x_N; a_i^r, \dots, a_{i-1}^r, a_{i+1}^r, \dots, a_N^r; u] \quad (2.2)$$

де \tilde{K}_i – середній геометричний (за часом) коефіцієнт розмноження i -го виду.

Відомо, що екологічні параметри зв'язані між собою певним чином (утворюють множини $A_i(u)$ -множини Метью-Кермака), але розрізняються для різних умов середовища. Деякі параметри абіотичної складової середовища також зв'язані між собою (вологість ґрунту і температура, концентрації речовин і швидкість вітру і т.д.), однак багато хто з них лише однобічною залежністю, наприклад, концентрація забруднень в атмосфері практично не впливає на швидкість вітру.

Зміна стану абіотичного середовища і (чи) зміна факторів впливу на біологічну систему, тобто зміна $u_k \rightarrow u'_k$, веде до зміни стану екосистеми: виникає екзогенна сукцесія, а перебудова екосистеми веде до нового клімакського стану, що відповідає значенням u_k .

У загальному випадку в задачі екологічного моніторингу входять визначення множин u і $A_i(u)$. Однак доцільним є добір по можливості меншого числа параметрів (однак найбільш значимих).

Оптимальна організація екологічного моніторингу повинна забезпечувати одержання інтегральних показників, що входять у прогностичні моделі, тобто коефіцієнта розмноження видів при різних умовах навколишнього середовища. Саме цей коефіцієнт добре відбиває відповідні реакції виду на впливи. До екологічних параметрів, що визначають коефіцієнт розмноження, відносяться плідність особин і резистентність до факторів смертності.

Наступна не менш складна проблема при обґрунтуванні екологічного моніторингу – це проблема вибору серед величезної кількості біологічних видів найбільш репрезентативних і досить чутливих. Вивчення чутливості до впливів усіх видів, що складають екосистему, – задача дуже громіздка. Тому головним є вибір представницьких видів із наступною інтерполяцією результатів спостережень за обраними видами на інші. Принципом інтерполяції може служити мінімальність дисперсії вимірюваної величини по області інтерполяції.

Відзначимо, що лінійна інтерполяція буде найбільш точною в такій системі координат, у якій автокореляційна функція поля чутливості біоти буде убувати найбільш повільно; такою системою координат є філогенетичне древо. У цій координатній системі при переході від вищих таксонів до нижчих роль положення визначальних точок зменшується (і зміна при виборі виду усередині роду менше позначається на точності). Виникаючі у зв'язку з цим додаткові можливості необхідно використовувати для вибору найбільш чутливих видів і видів, що грають найбільшу екологічну роль.

Даний підхід є оптимальним при обґрунтуванні підсистем екологічного моніторингу при різних антропогенних впливах на всіляких рівнях і при різних інтенсивності.

Біологічний моніторинг тісно зв'язаний з екологічним. Він спрямований на виявлення і оцінку антропогенних змін, зв'язаних із зміною біоти, біологічних систем, на оцінку стану цих систем. Стан біологічних систем при здійсненні екологічного моніторингу може бути визначений шляхом оцінки відповідності даного біогеоценозу критерію "гарного" біогеоценозу. При цьому повинна бути зроблена оцінка:

- продукції всіх основних ланок трофічного ланцюга;
- відповідності високої продуктивності високої продукції (що визначає компенсаторну активність біологічних систем);
- стабільності структури і різноманітності окремих трофічних рівнів;
- швидкості протікання обміну речовин і енергії в екосистемі, що характеризує можливість біологічного самоочищення системи.

У системі екологічного моніторингу як розподіл показників умов середовища і їхніх впливів на біологічні системи можуть використовуватися визначення чисельності окремих видів і їхнього стану.

Придатними в якості конкретних показників умов середовища утримання хімічних речовин у різних тканинах організмів на різних рівнях трофічних ланцюгів вважаються: швидкість росту дерев, енергія фотосинтезу, мікробіологічна активність ґрунтів, ріст лишайників, розвиток різних гідробіонтів. Ці дані можуть бути доповнені даними по зміні структури біогеоценозів, їх просторовим і функціональним взаєминам. Особливе значення має аналіз біоценозичного гомеостазу при спрощенні окремих трофічних зв'язків.

Описаний підхід складає основу біологічного моніторингу (у рамках екологічного). Вважається, що біологічний моніторинг включає спостереження за факторами впливу, але головна увага в біологічному моніторингу повинна приділятися спостереженням за біологічними наслідками, відгуками, реакціями біологічних систем на зовнішні впливи, на зміни стану природного середовища.

Біологічні показники можна розділити на дві категорії: функціональну, котра виражається похідними деяких функцій за часом (наприклад, показники продуктивності, подих, швидкість обміну речовин, швидкість фотосинтезу), і структурну, котра може бути виражена інтегралом в часі як деякий підсумок дій (наприклад, показник, що характеризує чисельність видів і особин, кількість біомаси, зміна розміру і маси особин, зміст речовин у екосистемі).

Вводиться ще кілька категорій біологічних показників (ознак) (структурні показники названі структурно-морфологічними): етологічні ознаки (зміна активності, міграція, зміна режиму харчування); патологічні ознаки, що відповідають порушенням гомеостазу (різні хвороби, зниження холодостійкості, жаростійкості).

Для цілей біологічного моніторингу як функціональні показники використовуються:

- показники росту (тобто продуктивності);
- показники витрат (подих, прижиттєве відчуження органічної речовини за рахунок випадань, линьки);

- показники стану (споживання і засвоєння їжі, швидкість круговороту різних елементів в екосистемі) і ін.

Добір серед структурних показників залежить від рівня організації біологічної системи.

При організації контролю за станом біоти особлива увага повинна приділятися:

- коливанням загальної чисельності популяції (і з'ясуванню причин цих коливань);
- змінам у віковому і статевому складі популяцій;
- зміні статевих процесів і інтенсивності розмноження;
- зміні репродуктивного циклу;
- зміні в ембріональному і постнатальному розвитку.

Дуже важливою для біологічного моніторингу є одночасна реєстрація показників, що відносяться до фактора впливу і біологічному відгуку; це забезпечує прив'язку друг до друга всіх спостережень, що характеризують стан біосфери як цілісної системи.

Спостереження (особливо довгі ряди) дозволять виявити основні тенденції у зміні стану біосфери, визначити темп змін окремих показників, що характеризують стан навколишнього середовища, виділити показники, темп зміни яких особливо високий. Важливо звертати увагу не тільки на очевидну зміну в структурних ознаках, але і на зміну окремих біологічних реакцій (наприклад, продуктивності деяких популяцій). Необхідно установити залежності (кореляційні) між показниками, що вказують, з одного боку, на інтенсивність факторів впливу, а, з іншого боку, на зміну біологічних реакцій екосистемах.

Усе більше значення в біологічному моніторингу надається біотестуванню і використанню чутливих до впливу видів для виділення антропогенних ефектів.

Міркування з аналізу стану біологічної системи на підставі оцінок показників, що відбираються спеціальним образом, дають підставу, вважати, що гомеостаз є механізмом, що регулює, упорядковує зміну властивостей екосистеми. Постулюється, що сукупність оцінок, які характеризують процеси, регульовані в системі гомеостатичними механізмами, при нормальному стані підкоряється гаусовському розподілу. Таке положення, підтверджене експериментально, дає можливість відокремити нормальні стани від станів, що виходять за межі норми. Наприклад, оцінки, що укладаються при цьому в інтервал $\mu \pm \sigma$, свідчать про гарний стан системи, а ті, що виходять за ці межі – про поганий.

При вивченні біологічних відгуків можуть зустрітися істотні труднощі: при відносно великому числі перемінних, досліджуваних в експерименті (вивченні стану системи), число відгуків, що реєструються, у біологічній системі може бути практично нескінченним. Отже, потрібно визначити метод фільтрації даних, принцип добору цих даних.

Для цих цілей пропонується наступний (системний) підхід: виділяються п'ять рівнів біологічної організації, для яких за допомогою деякого критерію

відбираються придатні показники. У табл. 2.1 перераховані обрані рівні і відібрані для них прийнятні показники (число таких показників може бути істотно обмежене). Укажемо, що ці показники виходять за рамки власне біологічного моніторингу і складають "екологічний спектр".

Таблиця 2.1

Рівень біологічної організації	Прийнятний показник
Субклітинний	Мембранний потенціал кліток
Клітинний (організменний)	Підвищення інтенсивності подиху
Популяційний	Оцінка серед особин популяції білатеральної симетрії у розподілі ознак, час генерації, співвідношення статей, співвідношення вікових груп
Трофічне угруповання (просте співтовариство)	Видова розмаїтість, зміст хлорофілу
Складне співтовариство	Співвідношення продукції різних трофічних угруповань

Приведемо деякі правила добору перемінних для контролю за станом біологічних систем, а саме:

- варто відбирати показники, що відносяться тільки до процесів із гомеостатичними механізмами;
- варто віддати перевагу показникам, що характеризують неспецифічний відгук на фактор, що впливає;
- варто віддати перевагу інтегральним показникам.

Передбачається, що наявність норми по одним показникам і патологій по іншим, а також їх співвідношення можуть однозначно визначити (і ідентифікувати) "хворобу" біологічної системи.

У випадку відсутності специфічних показників при дії різних факторів (наприклад, для безлічі показників, що визначають потік енергії і речовини в системі) виникає задача вишукати спосіб об'єднання показників, що оцінюють якість середовища як гарне або як погане. При цьому необхідно ввести оцінку якості для кожної перемінної d_i і узагальнену оцінку якості D , що враховує результати оцінок d_i .

Вважається можливим оцінку ефекту упровадженого впливу звести до підбора єдиного узагальненого показника стану екосистеми, що поєднує окремі відгуки системи так називаною функцією бажаності.

В експериментах за допомогою цього критерію впевнено оцінювалась (і порівнювалась) дія різних забруднювачів (їхніх сумішей) на біологічну систему. Зазначений підхід використовується при визначенні пріоритетності серед забруднювачів із погляду можливих негативних наслідків їхнього впливу на біологічні системи.

Тема 2.3. Екологічний моніторинг на суші (на базі біосферних заповідників)

Найбільш складною задачею є вивчення екологічних змін і організації екологічного моніторингу на фоновому рівні.

Організація упорядкованого екологічного моніторингу на фоновому рівні починалася зі створення такої системи на базі біосферних заповідників, для вивчення, контролю і прогнозу антропогенних змін стану біосфери. Таким чином, закріплені за біосферними заповідниками (по проекту програми ЮНЕСКО "Людина і біосфера") задачі збереження природних екосистем і генофонду рослин і тварин і деяких приватних досліджень доповнювалися комплексною програмою екологічного моніторингу, що передбачає проведення постійних спостережень за фоновими показниками стану біосфери, за її зміною за рахунок антропогенних причин, а також проведення досліджень із метою наукового обґрунтування вибору відповідних параметрів для контролю стану природного середовища.

Передбачалося вивчити ряд геофізичних характеристик, таких, наприклад, як потік сонячної радіації, організувати спостереження і вивчення антропогенних перетворень кругообігу найважливіших хімічних елементів, дослідження ґрунтового покриву, балансу і кругообігу води.

Планувалося ретельне вивчення забруднення природних середовищ, намічалось для вимірів у різних середовищах широке коло інгредієнтів.

Передбачалося дослідження біоти проводити на біоценотичному (склад біоти, її зміни, функціональна життєдіяльність і біологічна продуктивність), видовому (динаміка популяцій індикаторних видів), фізіологічному (фотосинтез, подих, ріст, розмноження) і молекулярно-генетичному (мутагенез, тератогенез) рівнях. Ці дослідження повинні бути тісно зв'язані зі спостереженнями за абіотичною складовою біосфери.

Таким чином, у біосферних заповідниках пропонувалося проводити всебічні дослідження, як зовнішніх факторів середовища, так і внутрішніх процесів і явищ, що відбуваються в екосистемах, на фоновому рівні і у буферній (перехідній) зоні, де можна було б вивчати різні види землекористування і проводити порівняння результатів антропогенних впливів із фоновим станом екосистем.

Програма фонового екологічного моніторингу на базі біосферних заповідників включає розділи:

- моніторинг забруднень природного середовища і інших факторів антропогенного впливу;
- моніторинг відгуків біоти на антропогенний вплив, у першу чергу, фонових рівнів забруднення;
- спостереження за зміною функціональних і структурних характеристик недоторканих ("еталонних") природних екосистем і їхніх антропогенних модифікацій.

Інтерпретація результатів зазначених спостережень можлива лише при ретельному вивченні фонових геофізичних характеристик середовища

(гідрометеорологічних спостережень, що включають спостереження радіаційного балансу і т.п.). Виміру гідрометеорологічних величин віднесені до першого розділу фонового екологічного моніторингу – до "абіотичного" моніторингу.

Організація спостережень, що відносяться до першого розділу моніторингу забруднень природного середовища, повинна вироблятися так, щоб одержувані результати надавали достатню інформацію про концентрацію різних домішок у навколишньому середовищі (включаючи біоту), про міграційні процеси і кругообіг цих речовин, їхньому нагромадженню і трансформації.

Передбачено вимір потоку речовини з атмосфери на поверхню, що підстилає, міграції з поверхневими і підземними водами, по трофічних ланцюгах в екосистемах.

При виборі речовин для включення в програму вимірів у біосферних заповідниках приймалися до уваги такі критерії як поширеність речовин, їхня стійкість і мобільність у навколишньому середовищі, здатність до впливу на біологічні і геофізичні системи (у тому числі на клімат і кліматичну систему). Перелік речовин, відібраних у такий спосіб (для різних середовищ), приведений у табл. 2.2. Цей перелік домішок аналогічний переліку, розробленому паралельно в США.

Періоди між вимірами (частота вимірів) різні для різних середовищ – для повітря і атмосферних опадів ці періоди складають 10-20 днів, для інших середовищ – від 2 до 6 місяців.

Передбачено проведення також вимірів, що характеризують стан середовища (мутність атмосфери, рН водного середовища), спостереження ряду гідрометеорологічних величин, достатніх для інтерпретації питань переносу, розсіювання і міграції забруднюючих речовин, сонячної радіації (включаючи ультрафіолетове випромінювання).

Як відзначалося, під час обговорення даного розділу програми екологічного моніторингу на фоновому рівні велика увага була приділена пріоритетності вимірюваних факторів впливу і ефектів у біосфері за рахунок найбільш істотних антропогенних впливів. При цьому першими були названі впливи, що викликають найбільш сильну реакцію в екосистемах і, що становлять для них найбільшу небезпеку.

Однак це питання варто розглянути також і з позицій можливого найбільшого порушення природної геохімічної рівноваги. Очевидно, таке порушення якщо в даний час і не наносить значного збитку, то в майбутньому може привести до серйозних наслідків, тобто становить визначену потенційну небезпеку. Деякі забруднюючі речовини, що попадають у природне середовище в результаті людської діяльності, можуть сильно змінити існуючий природний фоновий рівень змісту цієї речовини і тим самим нанести в сьогоденні чи майбутньому (може бути, навіть далекому майбутньому) серйозний збиток (при цьому не маються на увазі речовини, що у природному стані в природі відсутні цілком).

Таблиця 2.2 – Перелік хімічних речовин, що підлягають визначенню в природних середовищах на фонових станціях у біосферних заповідниках

Вимірювані домішки	Середовище				
	атмосфера	атмосферні опади	поверхневі і підземні води	грунт	біота
Зважені частки (аерозолі)	+				
Двоокис сірки	+				
Озон ¹	+				
Окис вуглецю	+				
Окисли азоту	+				
Вуглеводні	+	+	+	+	+
Бенз(а)пирен	+	+	+	+	+
Хлорорганічні з'єднання (ДДТ і ін.)	+	+	+	+	+
Важкі метали (свинець, ртуть, кадмій, миш'як)	+		+ ²		
Двоокис вуглецю	+				
Фреони		+	+	+	+
Біогенні елементи (азот, фосфор)		+			
Аніони і катіони ³		+			
Радіонукліди					

Для оцінки зміни природного кругообігу речовин, що викликані антропогенною діяльністю, у геохімії прийняте поняття технофільності обумовлене відношенням щорічного видобутку даного хімічного елемента (тоннах) до його кларкового вмісту в літосфері. Однак, очевидно, більш показовим є коефіцієнт K_n , що характеризує відношення сумарних викидів речовини в розглянуте природне середовище (у тоннах) до його кларкового вмісту в літосфері.

У табл. 2.3 приведені такі дані в порядку убывання коефіцієнта K_n (для атмосфери). З таблиці видно, що незважаючи на порівняно невеликі викиди в атмосферу таких елементів, як ртуть, кадмій, сурма, свинець, геохімічна рівновага може бути серйозно порушена антропогенною діяльністю через їх низькі концентрації у земній корі, у той час як, незважаючи на значні викиди заліза і алюмінію, роль цих викидів у порушенні геохімічної рівноваги неістотною.

Надзвичайно цікаво оцінити пріоритетність у "антропогенності" різних елементів, що поширюються з аерозолями, – ця характеристика враховує кількість викинутої в атмосферу речовини в процесі господарської діяльності людини, і здатність до поширення на значні відстані (але без урахування переходу в інші середовища). Такий критерій з урахуванням необхідності виявлення реакцій екосистем на антропогенні впливи є особливо коштовним.

¹ Інтегральна кількість і концентрація в приземному шарі.

² Включаючи метилртуть.

³ По програмі ВМО.

Таблиця 2.3 – Величини, що характеризують технофільність різних елементів

Елемент	K_n	Викиди в атмосферу, т/рік	Середній зміст у літосфері, %
Hg	$4,5 \cdot 10^9$	$1,5 \cdot 10^4$	$3,3 \cdot 10^{-6}$
Cd	$1,6 \cdot 10^9$	$2,5 \cdot 10^4$	$1,6 \cdot 10^{-5}$
Sb	$1,0 \cdot 10^9$	$2,0 \cdot 10^4$	$2,0 \cdot 10^{-5}$
Br	$9,0 \cdot 10^8$	$2,0 \cdot 10^5$	$2,2 \cdot 10^{-4}$
Pb	$6,4 \cdot 10^8$	$1,0 \cdot 10^6$	$1,6 \cdot 10^{-3}$
Se	$3,6 \cdot 10^8$	$5,0 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^{-5}$
Zn	$1,7 \cdot 10^8$	$9,0 \cdot 10^5$	$5,1 \cdot 10^{-3}$
Ag	$1,6 \cdot 10^8$	$8,0 \cdot 10^2$	$4,8 \cdot 10^{-6}$
As	$1,1 \cdot 10^8$	$2,0 \cdot 10^4$	$1,9 \cdot 10^{-4}$
Fe	$8,3 \cdot 10^5$	$3,0 \cdot 10^6$	3,6
Al	$1,75 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^6$	8,0

Для визначення такої пріоритетності був запропонований коефіцієнт збагачення, чи фракціонування (стосовно деякого опорного елемента),

$$K_i = \frac{C_i}{P_i} \div \frac{C_0}{P_0}, \quad (2.3)$$

який характеризує відношення концентрації досліджуваного елемента до концентрації опорного елемента в пробі, нормованих до їх кларкового вмісту.

Як опорний елемент нами були обрані розсіяні елементи, що володіють невеликими значеннями K_n (такі, як торій, цезій, скандій).

У табл. 2.4 приведені значення коефіцієнтів фракціонування K_i для аерозолів, відібраних у декількох промислових і "фоновому" районах Середньої Азії (значення $K_{(a+b)}$ і K_n відповідно). В якості фонового району був обраний високогірний льодовик (льодовик Абрамова, Памір). Значення коефіцієнтів фракціонування у фонових районах можуть бути більше одиниці за рахунок природних процесів і можуть характеризувати ступінь летючості хімічного елемента. Для визначення пріоритетності з урахуванням цього ефекту в таблиці також приведені значення $K_{ai} = K_{(a+b)} / K_n$.

Як видно з табл. 2.4, по ступеню антропогенності (за значеннями) елементи в аерозольних забрудненнях можна розташувати в наступний ряд:

$$\text{Hg} > \text{As}, \text{Sb}, \text{Mo} > \text{Cr}, \text{Cd}, \text{Zn} > \text{Fe}, \text{W} > \text{Co}, \text{Th}, \text{Sc}, \text{Cs}, \text{Br}$$

$$20,0 \quad 5-6 \quad 2,9-3,4 \quad 1,5-2,2 \quad 0,6-1,2$$

З табл. 2.3 видно, що окремі елементи, які володіють найвищою пріоритетністю по виявленій в такий спосіб ознаці (ртуть, миш'як, кадмій), уже включені в програму екологічного моніторингу по ряду інших (іноді близьких) ознак.

Розділ моніторингу біотичної складової біосфери (біотичний моніторинг) включає фіксацію відгуків біоти, оцінку впливу на біоту рівнів забруднення, близьких до фонового.

Таблиця 2.4 – Коефіцієнти фракціонування різних елементів (стосовно Th) у районах Середньої Азії

Елемент	$K_{(a-b)}$ (промисловий район)	K_{II} (фоновий район)	K_{aI}
Sb	$7,0 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^3$	5,0
As	$6,6 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^3$	6,0
Hg	$4,2 \cdot 10^3$	$2,1 \cdot 10^3$	20,0
Cr	$4,1 \cdot 10^1$	$1,2 \cdot 10^1$	3,4
Br	$6,4 \cdot 10^3$	$8,9 \cdot 10^3$	0,72
Fe	6,0	2,7	2,2
Co	$3,4 \cdot 10^1$	$2,9 \cdot 10^1$	1,2
Zn	$1,6 \cdot 10^3$	$5,5 \cdot 10^2$	2,9
Cs	$1,9 \cdot 10^1$	$2,6 \cdot 10^1$	0,71
Cd	$1,1 \cdot 10^4$	$3,5 \cdot 10^3$	3,1
Mo	$2,7 \cdot 10^2$	$5,4 \cdot 10^1$	5,0
W	$5,5 \cdot 10^1$	$3,7 \cdot 10^1$	1,5
Se	2,5	3,8	0,66
Th	1,0	1,0	1,0

Як уже обговорювалося в темі 2.2, екологічний моніторинг на фоновому рівні включає програму польових спостережень, експериментальну програму програму математичного моделювання. Цілком очевидно, що оцінити вплив фонових рівнів забруднення на біоту шляхом тільки польових спостережень практично не представляється можливим через виняткову тривалість збору даних, на основі яких можна вірогідно виділити ефект впливу цих дуже невеликих рівнів впливу.

У зв'язку з цим у програму експериментальних досліджень пропонується включити досвіди по впливу на елементи екосистеми біосферного заповідника ефектів існуючих (ідентифікованих при польових спостереженнях) впливів спеціальних установках для підтримки постійних (заданих) умов середовища екостатах.

Як інтегральний показник для побудови кривих "доза-ефект" відповідно до викладених вище розуміння (див. тему 2.2) обраний коефіцієнт розмноження. Вибір об'єктів для експериментів і інтерполяції результатів пропонується робити в координатах філіпченкового древа при мінімізації помилок інтерполяції. Ці рекомендації отримані на підставі математичного моделювання. У результаті експериментальних досліджень і моделювання може бути отриманий прогноз якісної і кількісної зміни екосистеми в часі.

Як програму польових спостережень біотичного розділу екологічного моніторингу, метою якої є оцінка і контроль поточного стану екосистеми, рекомендується здійснювати спостереження за видами, випадання чи зниження чисельності яких прогнозується в першу чергу.

У зазначеній програмі основна увага приділяється моніторингу забруднень і їх екологічних наслідків. Запропонована програма націлена не тільки на констатацію факторів, що спостерігаються, але і на прогноз (у зв'язку з цим у програму включається розробка і використання прогностичних еколого-математичних моделей). Як складені частини програма включає абіотичний і біотичний моніторинг.

Про вибір хімічних речовин, що підлягають визначенню в природних середовищах на фонових станціях, уже сказано досить докладно, обговорені

критерії цього вибору, приведений перелік необхідних речовин (див. табл. 2.2). Ця частина екологічного моніторингу вже реалізується, спостереження в біосферних заповідниках уже ведуться.

У програму абіотичного моніторингу включені також гідрометеорологічні і інші геофізичні спостереження.

До складу гідрометеорологічних і геофізичних характеристик, що підлягають виміру на станціях фонових моніторингу, повинні входити величини, необхідні для інтерпретації даних про концентрацію забруднюючих речовин в окремих середовищах і для дослідження біогеохімічних циклів і кругообігу хімічних речовин, а також для здійснення кліматичного моніторингу. До них відносяться:

- швидкість і напрямок вітру, атмосферний тиск і температура повітря, вологість і кількість атмосферних опадів;
- інтенсивність сонячної радіації (прямої, розсіяної, сумарної), включаючи ультрафіолетове випромінювання;
- рівень і витрата води, температура води, витрата зважених наносів;
- вологість і тепловий баланс ґрунтів.

Для атмосфери частота проведених спостережень коливається від 1 до 5 днів, атмосферні опади збираються один раз у декаду чи місяць. Інтегральна проба сніжного покриву береться один раз на рік перед весняним сніготаненням. Проби поверхневих вод і суспензії беруться шість разів на рік у характерні гідрологічні періоди, донні відкладення – один раз на рік у літню межу. Ґрунт досліджується один-два рази на рік, біота – два рази на рік (на зміст хімічних речовин).

Моніторинг відгуків біоти на антропогенне забруднення зі значеннями, близькими до фонових, являє собою складну і нову задачу.

Як уже відзначалося, у програмі для оцінки стану біологічного виду як контрольований показник обраний коефіцієнт розмноження виду, що не залежить від щільності. Зміна цього показника під впливом зміни рівня забруднення природних середовищ є зручною інтегральною характеристикою відповідної реакції біоти на забруднення. Крім того, зазначений показник можна безпосередньо використовувати в прогнозі екзогенної сукцесії.

Відповідно до задач екологічного моніторингу програма біотичного моніторингу включає:

- оцінку поточного стану біоти (що повторюються з деякою періодичністю виміру коефіцієнтів розмноження деяких видів);
- прогноз відповідних реакцій біоти (установлення залежності чутливості біоти до антропогенних забруднюючих речовин);
- контроль стану біоти польовими методами.

Відзначимо, що виконання цих трьох підпрограм є взаємозалежним.

Перша підпрограма зводиться до безупинної реєстрації змін коефіцієнта розмноження популяцій тестових видів. Тестування проводиться у вегетаційних камерах-екостатах із регулюванням умов абіотичного середовища (температура, вологість, освітленість).

На першому етапі реалізації дійсної програми рекомендується обмежитися видами з декількох груп, обраних по розумінням показності поширеності і чутливості до впливу забруднюючих речовин.

Для найпростіших, бактерій і водоростей конкретним показником буде служити відносний приріст чисельності розрідженої культури. Для мохів, лишайників і вищих рослин конкретним показником буде служити відносний приріст біомаси.

Періодичність вимірів для кожного конкретного виду індивідуальна, залежить від тривалості генерації. Рівні забруднення використовуваних експерименті середовищ (повітря, води, ґрунту) відповідають поточному фоновому стану забруднення в цьому регіоні.

Зазначені виміри виробляються на станціях фоновому моніторингу кожному біосферному заповіднику. Вибирається один конкретний тестовий вид для кожної із зазначених вище груп. При виборі цього виду рекомендується враховувати поширеність виду в екосистемі регіону, чутливість виду до впливу забруднень, його роль в екосистемі регіону.

Для найпростіших, бактерій, водоростей (по одному виду) рекомендується наступна частота спостережень (кількість тестів на рік): по 1 тесту відносного приросту чисельності за добу, для мохів і лишайників – по одному тесту відносного приросту біомаси за рік, для вищих рослин – 4 тести.

Достовірна зміна (збільшення чи зменшення) контрольованого параметру – коефіцієнта розмноження, – наявність, що відповідає стійкої тенденції, свідчать про зміну стану популяції контрольованого виду в регіоні фонових станцій за рахунок зміни стану забруднення.

Моніторинг відповідної реакції біоти на дію забруднюючих речовин складається в здійсненні комплексу експериментів по визначенню коефіцієнта розмноження видів при різному забрудненні середовища по окремих забруднюючим речовинам і при фіксуванні інших абіотичних умов. Експерименти з кожним з обраних видів виробляються у вегетаційних камерах екостатах.

Коефіцієнт розмноження для кожного виду визначається для кожної забруднюючої речовини пріоритетного переліку окремо.

Принципом вибору системи видів – тест-об'єктів – є мінімізація помилок інтерполяції відповідної реакції біоти в цілому на забруднення на основі даних про чутливість тест-об'єктів.

Одержувана інформація про поле чутливості біоти до зміни забруднення природних середовищ (доза – відповідна реакція) сама по собі може служити підставою для найпростішого орієнтованого прогнозу.

Необхідність організації контролю стану біоти польовими методами диктується тими помилками і неточностями, що виникнуть при оцінці прогнозу станів біоценозів у рамках попередніх підпрограм. При цьому для контролю рекомендуються саме ті біологічні види, що визнані найбільш чутливими до впливу.

Вважається, що антропогенна діяльність відбивається на складі співвідношенні елементів ґрунтової фауни; ця особливість може бу

використана при моніторингу, так само як і окремі біоіндикатори – концентратори різних елементів (дощові хробаки – концентрати кадмію; жука-жука – свинцю; мокриці – міді).

Тваринне населення ґрунтів повинне бути одним із найважливіших об'єктів екологічного моніторингу.

Для цих цілей можуть широко використовуватися ґрунтові безхребетні (вони відрізняються високою чисельністю, біомасою, видовою розмаїтістю – на 1 м² зустрічається 200-300 видів, сумарною чисельністю до 2 млн. особин). Найбільш кращими є великі ґрунтові безхребетні, багато з яких живуть у широкому діапазоні екологічних умов. Серед них для цілей моніторингу найбільш придатними є дощові хробаки, лускуни і їхні личинки, великі хижі жука, деякі види мокриць і диплопод, а в аридних екосистемах – таргани і чорнотілки. Облік чисельності і активності ґрунтової фауни варто проводити 3 рази в сезон. Доцільна двоступенева система моніторингу – моніторинг на рівні популяції окремих видів великих ґрунтових безхребетних і періодичних ґрунтово-зоологічних обстежень типових місцеперебувань.

Пропонується вивчати функціональні характеристики "еталонних" (природних) екосистем на фоновому рівні (у біосферних заповідниках) у порівнянні з їх антропогенними модифікаціями в проміжних (із погляду антропогенного впливу) зонах і природно-технічних системах.

Пропонується також здійснювати спостереження як за клімакними екосистемами, так і за сукцесійними рядами екосистем, що розвиваються і у природних умовах (наприклад, відновлення після пожежі), і в результаті антропогенних короточасних (відновлення після вирубки) чи безупинних (в умовах антропогенного забруднення) впливів. Рекомендуються порівняльні спостереження за просторовими сполученнями природних екосистем, що формуються при різних умовах, наприклад, вивчення вододільних, схильових і низинних екосистем.

При моніторингу стану сухопутних екосистем рекомендується ретельне вивчення енергетичного балансу і запасу речовини екосистеми. Для цього передбачається визначення в екосистемі кількості органічної речовини, що утвориться, її утворення в ґрунт, кількості речовини, що розпадається, і поглинання іншими організмами живого рослинного матеріалу. Повинна також здійснюватися реєстрація основних забруднюючих речовин у життєво важливих частинах екосистем (наприклад, в екосистемі соснового лісу досліджуються сірка і важкі метали у хвої, лишайнику, підстилці, верхньому шарі ґрунту і земляних хробаках). Рекомендується також здійснювати детальний опис ґрунтового і рослинного покриву (щоб зв'язати досліджувану екосистему з більш великими біогеофізичними формаціями).

Для моніторингу сукцесійної динаміки біоценозів (що дозволяє виявити антропогенні ефекти) пропонується здійснювати фотографування (щорічне) постійних екологічних профілів. По фотографіях вивчаються окремі стадії сукцесії, виявляються зміни лісового базису ерозії, явища евтрофікації у перезволожених ґрунтах, випадки погіршення нормальної життєдіяльності ценозів і т.д. Пропонуються спостереження за динамікою тваринного населення

(на постійних спробних площадках), за ґрунтовою мезофауною – мето-пошарових ґрунтових розкопок, із розбиранням підстилки і гумусу. Діа-програма є реальною основою для вивчення і контролю стану біоценозів.

Цікавими представляються пропозиції по програмі екологічного моніторингу в біосферних заповідниках і на регіональній і базовій фонових станціях.

У якості контрольованих забруднюючих речовин в атмосфері запропоновані хлорвмістні пестициди ДДТ і інші, поліхлорбіфеніли, важкі метали (свинець, ртуть, кадмій, залізо), а також кальцій, магній, натрій, алюміній. В атмосферних опадах передбачається вимір SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , PO_4^{3-} радіонуклідів і рН опадів.

У якості досліджуваних біомів запропоновані тропічні ліси, ліси помірної зони (можлива деталізація), луки, посушливі зони, водяні, гірські і островні екосистеми, урбанізовані системи. Як компоненти екосистеми визначаються основний хижак, що знаходиться на вершині трофічної піраміди (птаха, ссавець, трав'яниста тварина, що домінує; рослина, що домінує; земляний хробак; верхній (1 см) шар ґрунту і ґрунтовий профіль; різні групи рослинності (дерево, кущ, трава, мох); ґрунтові організми; відкладення.

Таким у цілому уявляється фоновий екологічний моніторинг на суші.

Тема 2.4. Екологічний моніторинг океану

Обґрунтування і організація комплексного екологічного моніторингу океану є самостійною задачею.

Комплексний екологічний моніторинг океану – це система спостереження, аналізу, оцінки і прогнозу стану океану; він включає в себе фізичну, геохімічну і біологічну складові.

До задач екологічного моніторингу океану (фізична складова) входять систематичний аналіз, спостереження і прогноз термодинамічних процесів, процесів поширення антропогенних домішок, що визначають екологічну ситуацію в океані. Фізична складова екологічного моніторингу тісно зв'язана з кліматичним моніторингом і, таким чином, дослідження в цій області є елементом Всесвітньої кліматичної програми. У рамках цієї програми значна увага приділяється вивченню впливу властивостей і динаміки океану на тепло-газообмін з атмосферою, на глобальний кругообіг тепла, вологи і різних хімічних сполук, особливо двоокису вуглецю, у кліматичній системі. До задач також входить визначення впливу різних антропогенних впливів на найважливіші геофізичні явища в океані, на процеси взаємодії океану з атмосферою, на стан кліматичної системи, у тому числі кріосфери.

Екологічний моніторинг океану (геохімічна складова) охоплює систематичний контроль, оцінку і прогноз рівнів забруднення морських екосистем, включаючи швидкості надходження забруднюючих речовин. Світовий океан, їхній зміст у морській воді, нагромадження у зважених речовині, донних відкладеннях, біоті; швидкості видалення забруднюючих

речовин із морської води за рахунок біогенної седиментації і мікробного метаболізму.

Екологічний моніторинг океану (біологічна складова) включає систематичні спостереження, оцінку і прогноз біологічних наслідків антропогенного забруднення і інших негативних впливів, а також виявлення "критичних" факторів впливу і найбільш уразливих ланок у біотичній складовій морських екосистем.

Основними задачами екологічного моніторингу океану є створення системи спостережень за джерелами і факторами антропогенних впливів і біологічних ефектів у морських екосистемах, а також визначення припустимого навантаження на екосистеми (що розроблюється на основі оцінки, аналізу і прогнозу стану океану).

Перебудови в співтовариствах і популяціях, що викликаються антропогенним забрудненням, можуть носити гострий характер (у результаті імпульсних впливів у випадку аварійних розливів нафти із судів, при виносі ріками значної кількості забруднюючих речовин і т.п.), або хронічний характер – при невеликих, але довгостроково діючих факторах забруднення. В останньому випадку біологічні наслідки допоможуть мати дуже інерційний характер. У цьому випадку надзвичайно важливим представляється вибір придатних біологічних об'єктів для спостереження і контролю.

Оптимальну категорію гідробіонтів для цих цілей складають:

- морська мікрофлора, що володіє високою швидкістю розмноження, різноманітністю типів фізіологічної активності;
- молодь нейстонного угруповання, що заселяє приповерхній мікробіотон океану, де концентруються забруднюючі речовини;
- макро- і мейофауна бентосу, багато форм якої інтегрують ефекти впливу за тривалий проміжок часу;
- макроводорості в приливних зонах і шельфових областях.

У системі екологічного моніторингу океану важливе місце займає біологічна індикація поразки екосистем. Перевага біоіндикації при аналізі екологічної ситуації в океані полягає в тому, що біологічні процеси відбивають інтегральний вплив змін середовища; біологічні процеси дозволяють визначити швидкість і спрямованість змін, що відбуваються, у навколишньому середовищі; морська біота вказує не тільки шляхи міграції, але і місця нагромадження хімічних речовин в екологічних системах.

Біологічна індикація покладена в основу бір-тестування – біологічного методу оцінки характеру і ступеня забруднення морського середовища.

У якості біотестів широко використовуються різні види фітопланктону, зоопланктону, молюски, окремі представники іхтіофауни, морські мікроорганізми.

Як уже відзначалося, біологічний моніторинг здійснюється на індивідуальному і популяційно-біоценологічному рівнях.

Біологічні показники на індивідуальному рівні повинні включати морфологічні, етологічні, біохімічні, фізіологічні і генетичні характеристики, специфічні для даного виду.

В якості морфологічних показників можуть бути обрані: розмірний склад гідробіонтів, стан зябрової мембрани риб, форми клітини мікроорганізмів; якості етологічних показників – характер орієнтації гідробіонтів у просторі, частота руху зябер; у якості біохімічних – швидкість даного ензиматичного процесу, властивості окремих ферментів; у якості фізіологічних – споживання кисню, швидкості розмноження, росту, осмотичної регуляції, співвідношення споживання кисню до азоту, виділеного в процесі метаболізму; як генетичні показники – швидкості мутацій і т.д.

Моніторинг на рівні угруповань визначає стан і рівень стабільності екосистеми. Саме цей аспект біологічного моніторингу особливо важливий, тому що реалізація моніторингу на індивідуальному рівні лише вказує на тривожні ознаки змін, що з'являються, але не характеризує перебудови екосистеми в цілому.

Моніторинг на рівні популяцій і угруповань включає вивчення структурних і функціональних характеристик. Як структурні показники звичайно вибирається визначення чисельності біомаси, числа і складу видів, їхній розподіл у часі і просторі; як функціональні показники – досліджується продукція і подих, що характеризують загальну кількість енергії, використовуваної даним угрупованням.

При аналізі стану екосистеми особлива увага звертається на наступні характеристики, що виявляються в процесі спостережень:

- співвідношення ведучих таксономічних груп у співтоваристві, індекс розмаїтості;
- зміна середньої біомаси домінуючих груп (значні зміни, перебудова вказують на наявність "стресового" стану);
- співвідношення процесів продукції і деструкції органічних речовин екосистеми;
- співвідношення організмів продуцентів і консументів, що характеризує трофічну структуру угруповання і визначає ступінь його стабільності;
- мікробіологічні показники (чисельність, біомаса, мікроорганізми-індикаторні форми); зміна співвідношення різних фізіологічних груп мікроорганізмів указує на існування перебудови в угрупованнях;
- стан індикаторних і критичних форм гідробіонтів.

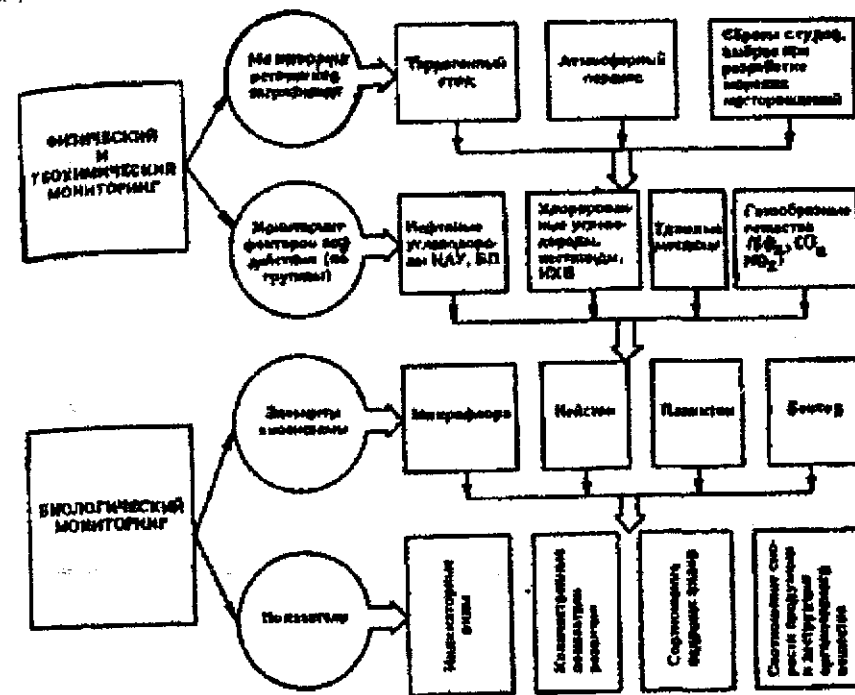
Система біологічних показників моніторингу океану повинна охоплювати всі основні морські співтовариства – нейстон, планктон, перифітон, бентос.

При здійсненні ефективного екологічного моніторингу необхідно гарне знання гідрометеорологічного режиму акваторії (і інших фізичних характеристик), забезпечення показності всіх ланок біотичної складової, знання особливостей "поводження" досліджуваних хімічних речовин.

Саме на підставі цієї інформації визначається оптимальна система спостережень і добору проб (частота, показність, сезонність і т.д.) – режим моніторингу.

Важливе місце в системі біологічного моніторингу приділяється модельним експериментам стосовно до контрольованих екосистем, що відтворюють картину реакції системи на досліджувані впливи.

На мал. 2.2 показана схема геохімічного і біологічного моніторингу морського середовища.

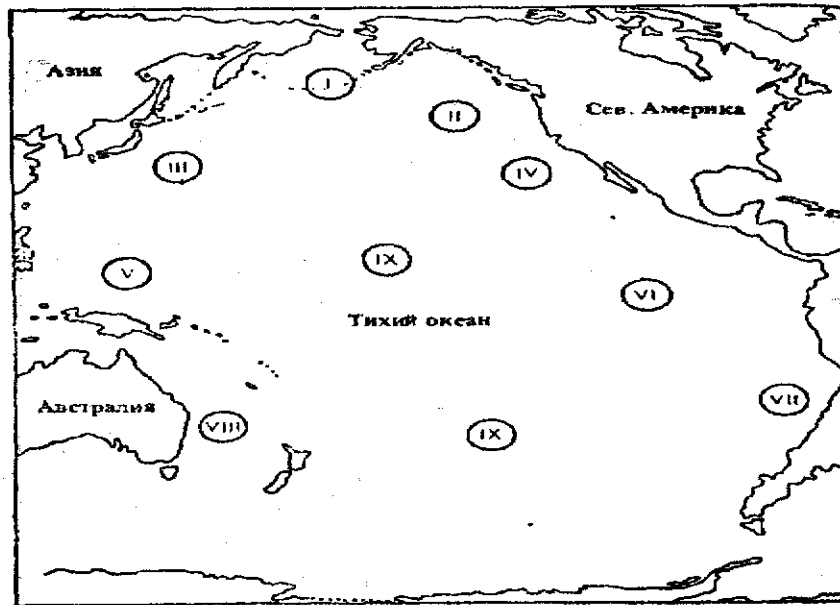


Малюнок 2.2 – Схема геохімічного і біологічного моніторингу морського середовища

Запропоновано організувати ряд станцій (полігонів) для довгоперіодних спостережень за фоновими рівнями зміни морського середовища по програмі "Біосферні заповідники".

Для організації станцій (полігонів) фонового моніторингу морського середовища запропоновано вибирати райони з екосистемами, що мають різні трофічні рівні, райони, вилучені від джерел забруднення, райони з легкопораними екосистемами.

Запропоновані наступні райони, можливі для розміщення станцій фонового моніторингу в Тихому океані: Берингове море, залив Аляска, район поблизу Японських островів, район Орегонського апвелінга, район поблизу Маріанських островів, Екваторіальний плин, Перуанський апвелінг, Великий Бар'єрний Риф і відкритий оліготрофний район поблизу південних островів Лайн (мал. 2.3).



Малюнок 2.3 – Зони в Тихому океані, де передбачається організувати фоновий моніторинг океану:

- I – Берингове море, II – залив Аляска, III – район поблизу Японських островів,
- IV – Орегонський апвелінг, V – район Маріанських островів,
- VI – район Екваторіального плинну, VII – Перуанський апвелінг,
- VIII – Великий Бар'єрний риф, IX – відкриті райони океану.

Рекомендовано здійснювати моніторинг евтрофікації океану шляхом виміру мікробіологічних і біохімічних параметрів, безпосередньо зв'язаних швидкістю кругообігу біологічних елементів. Відзначено доцільність використання молюсків (*Mytilus sp.*) як індикатори при здійсненні контролю рівнем забруднення морського середовища.

Тема 2.5. Використання супутникових систем в екологічному моніторингу

Очевидно, що при здійсненні екологічного моніторингу роль інтегральних ознак, характеристик екологічних систем, осереднених у великих масштабах (у просторі і в часі), стає винятковою. Важливе місце при організації моніторингу повинне приділятися дистанційним методам, здатним безпосередньо представляти дані по великомасштабних змінах.

Лідуючими в таких методах є методи, що використовують космічні засоби, що зайняли міцне місце при вивченні природних ресурсів; ці роботи одержали ємну назву "космічне землезнавство".

Для цих цілей створюються спеціальні супутники, супутникові системи "Метеор", "Метеор-Природа", ERTS, "Лэндсат". Так, із супутника "Метеор"

приймалися зображення, по яких представлялося можливим із достатньою для практичних цілей точністю судити про зміну стану пасовищної рослинності в республіках Середньої Азії.

Велика інформація про різні природні ресурси, процеси, що відбуваються на поверхні землі, надходить і з інших космічних систем і окремих супутників. Особливо необхідно виділити пілотовані орбітальні станції "Салют", "Світ", де крім зазначеної інформації, людина забезпечує пошук і виявлення заданого явища різними дистанційними методами.

Особливо ефективні результати по оцінці антропогенних впливів може дати комплексне використання інформації, одержуваної за допомогою космічних систем, літаків і наземних систем.

До інформації, що одержується із супутників і використовується при організації екологічного моніторингу, відноситься інформація про стан лісів, сільськогосподарських угідь, про рослинність на суші, про фітопланктон на морі, про стан земної поверхні (грунтовий покрив, порушення земної поверхні антропогенною діяльністю, ерозійні процеси, урбанізовані зони), про перерозподіл водних ресурсів, забруднення атмосфери, морів і суші. Нижче наводяться короткі дані, що характеризують практичні можливості супутникових систем для забезпечення деяких задач екологічного моніторингу.

Крім основного напрямку космічного землезнавства – фотографування земної поверхні з наступним дешифруванням отриманих зображень – розвиваються напрямки, зв'язані з виявленням нових властивостей досліджуваних земних об'єктів. З цією метою використовуються багатозональні зйомки, що дозволяють той самий елемент (район) зняти в різних спектральних діапазонах і виявити (за рахунок розходження в спектральній яскравості зображення) значно більше особливостей даного елемента. Така зйомка дозволяє також визначати глибинні характеристики водних об'єктів, що спостерігаються, за рахунок проникнення випромінювання у визначеному діапазоні довжин хвиль на великі глибини (наприклад, у діапазоні 0,5-0,7 мкм – 20 м).

Для багатозональних спектральних зйомок використовується випромінювання в діапазоні довжин хвиль, що відноситься до "вікон прозорості" атмосфери. Ультрафіолетове випромінювання (із довжинами хвиль коротше 300 нм) при таких зйомках не використовується, оскільки воно практично цілком поглинається атмосферою. Видиме випромінювання легко проходить через атмосферу Землі (крім декількох вузьких смуг поглинання) і тому з успіхом застосовується в спектральних зйомках, так само як і випромінювання в ближній інфрачервоній області, що найчастіше використовують для вивчення природних ресурсів і стану природних середовищ, виділення антропогенних ефектів. Для багатозонального зондування зручний також діапазон ІЧ області 8-15 мкм, оскільки тут практично відсутнє поглинання в атмосфері. Використовується також випромінювання теплового і радіодіапазонів (аж до декаметрового). У цілому цінність одержуваної інформації про поверхню, що підстилає, і атмосферу залежить від правильного вибору одного чи декількох діапазонів довжин хвиль.

Описані методи дають можливість комплексного вивчення геосистем закономірно повторюваних сполучень природних і природно-технічних утворень на земній поверхні (чи природних і культурних ландшафтів), тобто дають новий інструмент для розвитку сучасної географії. Аерокосмічні методи використовуються і для досліджень природоохоронних територій. З допомогою супутникової інформації уже відкриті нові морфо- і геоструктури, визначається структура землекористування і оцінка стану земельних угідь. Використання багатоспектральної зйомки дозволяє виявити генетичні типи механічний склад ґрунтів.

Дистанційне вивчення ґрунтового покриву зі штучних супутників Землі можливо шляхом картування ґрунтів, їхнього районування по яких-небудь ознаках, а також шляхом вивчення найважливіших властивостей ґрунтового покриву – вологості, типу ґрунтів, засоленості, змісту гумусу, механічного складу, порушеності (при сільськогосподарському використанні, при ерозії ґрунтів), наявності рослинності.

Ґрунти можуть розпізнаватися по вимірах прямих ознак поверхні, а також непрямих – по геологічним, геоботанічним і геоморфологічним індикаторам. Для визначення типу і стану ґрунтів дуже важливим є використання також прямих ознак, як температура, вологість, зміст гумусу і т.д.

Виміри температури ґрунту засновані на вимірі радіаційних поверхневих температур в ІЧ діапазоні (у вікнах прозорості атмосфери), а також радіояскравісних температур у мікрохвильовому діапазоні з точністю до 2,0°С і з точністю 0,5-1,5°С при здійсненні Міжнародного метеорологічного експерименту.

Гумусність ґрунту визначається оптичним методом (на відкритих ділянках) – спостерігається кореляція між спектральною яскравістю в видимому діапазоні і змістом гумусу.

Засоленість ґрунту визначається також по яскравості в великомасштабних фотографіях. Багато спектральна зйомка істотно полегшує виконання цих задач.

Яскравість на фотографіях ґрунтів різко знижується зі збільшенням вологості (приблизно 0,02 яскравості на 1% вологості до змісту вологи в ґрунті 18-24%).

Виміри в мікрохвильовому діапазоні подають інформацію про вологість ґрунту в шарі і можуть бути використані для одержання профілів вологості.

Космічна зйомка представляє широкі можливості для геоботанічного районування, вивчення рослинності (природної, сільськогосподарської), визначення запасів біомаси і продуктивності. Як уже відзначалося, навіть знімках із малим вирішенням (ШСЗ "Метеор") із задовільною точністю визначалася продуктивність пасовищної рослинності в республіках Середньої Азії.

Залежність між коефіцієнтом спектральної яскравості і біомасою особливо чітко просліджується в діапазоні довжин хвиль 0,59-0,68 мкм. Для визначення продуктивності перспективним є використання багатоспектральної зйомки.

По телевізійним зображенням із супутників "Метеор", що зроблені у зйомку, проводилося розпізнавання лісових масивів, боліт, заболочених лісів, заплав і сільськогосподарських угідь із метою розробки методів районування боліт і заболочених лісів північнотайожної зони.

Для екологічного моніторингу особливе значення має визначення стану рослинності (наприклад, фенологія, хвороби). Ці дослідження можна проводити особливо ефективно за допомогою багатоспектральної зйомки (у діапазоні від 0,28 до 14 мкм) у вузьких смугах спектра. Уже розроблені деякі підходи до використання даних багатоспектральних зйомок для визначення стану сільськогосподарської і лісової рослинності. Цікавими для цих цілей представляються зйомка в ІЧ діапазоні (у тому числі в далекій зоні спектра 8-14 мкм) і радіотеплова зйомка. Найбільш перспективною для екологічного моніторингу є багатоспектральна зйомка з відносно високим вирішенням (приблизно 200 м). Саме такі зйомки дадуть можливість із достатньою деталісттю (і досить оперативно) і, що саме головне, із достатнім рівнем імовірності судити про стан рослинності.

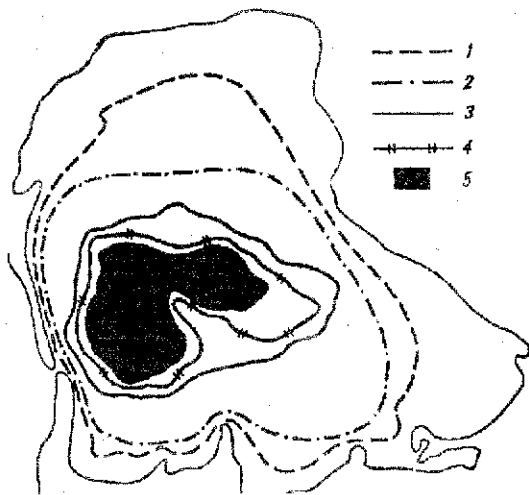
Особливо важливим є виявлення ознак зміни стану ґрунтів і рослинності, зв'язаного з антропогенною діяльністю. З цією метою необхідна організація спостережень за найрізноманітнішими, особливо антропогенними, ландшафтами.

Спостереження за розмірами населених пунктів і заселених територій дозволяють судити про кількість і ріст населення (площа поселення є степінною функцією кількості людей); по яскравості нічних вогнів, що виявляються з космосу, у роботі запропоновано визначати зразкове загальне споживання енергії людиною. Очевидно, якщо робити вимір виділюваної населеним пунктом енергії в ІЧ і радіодіапазоні, то можливо оцінити споживання енергії людиною, включаючи промислове споживання.

Наприклад, у районі Нью-Йорка із супутника спостерігалися аномалії радіаційної температури 3-4°С.

Спостереження за водоймищами і природними водними об'єктами дозволяють із більшою точністю (по положенню берегових границь і рівню води) судити про зміну стану цих об'єктів, у тому числі антропогенного характеру.

Була простежена динаміка затоки Кара-Богаз-Гол після його відокремлення від Каспійського моря (на початку 1980 р.). На мал. 2.4 показана зміна границь затоки, що висихає, за даними космічних зйомок. За допомогою цих зйомок визначалися не тільки границі, але і глибина (а, отже, і обсяг) затоки, що на початку 1983 р. коливалася від 10 до 65 см.



Малюнок 2.4 – Границі затоки Кара-Богаз-Гол у різні періоди часу:

1 – уріз ропи до відокремлення, 2 – уріз ропи на вересень 1980 р., 3 – на жовтень 1981 р., 4 – на вересень 1982 р., 5 – область зайнята водою на початок 1983 р.

На фотографії, яка отримана в лютому 1984 р. у діапазоні довжин хвиль 0,7-1,1 мкм (мал. 2.5), видний уже практично цілком висохлий затив, а також границя послідовних стадій висихання.



Малюнок 2.5 – Космічний знімок Каспійського моря і затоки Кара-Богаз-Гол (лютий 1984 р.)

У результаті відокремлення затоки від Каспійського моря випар води з повної акваторії моря за 1980-1984 рр. зменшився більш ніж на 30 км^3 .

У зв'язку з думкою про необхідність підтримувати екологічні умови затоки в колишньому стані (рівноважний стан похованої ропи, тобто розсолу, зменшення можливості вітрового переносу солей з поверхні висохлого дна

затоки і т.п.) у районі перекритої протоки закладено 11 труб великого діаметра з регулюючим пристроєм (така можливість була передбачена у проекті греблі), що дозволяє робити попуски води з Каспійського моря в затоку обсягом до 5 км^3 (у випадку необхідності). Спочатку передбачається подавати в затоку до 2 км^3 води щорічно.

За допомогою супутникових методів добре ідентифікуються багато антропогенних змін у навколишньому середовищі, що відбуваються в даний час і мали місце в минулому, наприклад, лісові пожежі (по шлейфах диму – в сьогоденні, лісовим гарам – у минулому), забруднення атмосфери і поверхні, що підстилає, (різні зміни на багатоспектральних фотознімках: чітка ідентифікація пилових у видимому діапазоні і теплових в ІЧ діапазоні викидів – у сьогоденні, характерні зміни рослинності – в минулому), ерозія ґрунтів і т. п.

Дуже чітко ідентифікуються шари пилу, особливо хмари пилу при пильних бурях.

Спостереження за димовими викидами дозволяють (по ступені прозорості) установити щільність часток у цих факелах. Інгредиенты в таких факелах можна визначити по поглинанню радіації у відповідних зонах поглинання різними газами.

При розгляді кліматичного моніторингу і впливу антропогенних впливів на клімат обговорювалася можливість вимірів змісту озону, аерозолів і малих газових складових (таких, як галогеновуглеці, закис азоту і ін.) із супутників.

У цьому випадку найбільш перспективними є виміри теплового чи розсіяного випромінювання атмосфери поблизу диска Землі, а також ослаблення сонячного світла.

Саме космічні зйомки можуть забезпечити спостереження за деякими явищами на самому початку, коли високі концентрації речовини чи енергії істотно полегшують виміри.

Поразка хвойної рослинності димовими викидами спостерігалася із супутника ERTS-1 по зміні спектральної яскравості в діапазонах 0,5-0,7 і 0,8-0,9 мкм; аналогічні спостереження дозволяли оцінити концентрацію хлорофілу у воді (по співвідношенню коефіцієнтів спектральної яскравості в діапазонах довжин хвиль 0,52-0,57 і 0,41-0,48 мкм), розвиток евтрофікації у водоймах; виміри із супутників забруднення води зваженими частками, нафтовими і іншими поверхнево-активними плівками. В останньому випадку використовувалися спектрально-кутові розподіли відбитого випромінювання.

Вогнища лісових пожеж виявляються як по зйомках у видимій частині спектра (шлейфи диму), так і по нічним ІЧ зображенням (гари чітко виділяються кольором, по якому можна судити навіть про їх "вік").

Для досліджень методом багатоспектральної зйомки з вирішенням 250 м для виявлення і спостереження за забрудненнями і іншими антропогенними ефектами в біосфері використовувалися супутники системи "Метеор-Природа". Супутники такого типу обладнані багатоспектральними сканерами, спектрометрами і мікрохвильовими радіометрами, що дозволяють виділяти шлейфи аерозолів антропогенного походження в районі міст і промислових

районів, забруднення поверхневих вод і т.п. Цікаві можливості зв'язу використанням активної локації, уже реалізованої на супутнику "Космос-1".

Регулярна додаткова інформація, що надходить із пілотованих космічних станцій "Салют", дозволяє не тільки кваліфіковано інтерпретувати одержану інформацію, але і контролювати поля антропогенних забруднень і їх впливів. Така робота вже проводиться над територією Європи.

Результати цих досліджень показують, що антропогенні шлейфи аерозолів поширюються на сотні, а в ряді випадків на тисячі кілометрів. На отриманих знімках видно, що при деяких метеорологічних умовах практично вся територія Європи покривається "серпанком" антропогенного походження (ці шлейфи можна порівняти зі шлейфами від лісових пожеж, однак в промислових забрудненнях концентрації аерозолів у них, звичайно, нижче).

Антропогенні зміни на суші визначаються не тільки забрудненнями, але і урбанізацією, що збільшується, розширенням площі сільськогосподарських угідь, розвитком комунікацій, вирубкою лісів, перерозподілом водних ресурсів, відкритою розробкою корисних копалин і т.п. Ці зміни приводять до зміни альбедо і, отже, до зміни спектральної яскравості. За допомогою космічних зйомок добре визначається сумарний ефект "антропогенності" на фоні якого можна виділити і його окремі компоненти (наприклад, шлейфи забруднень).

Досить добре виділяються антропогенні зміни поверхневих вод морів і океанів.

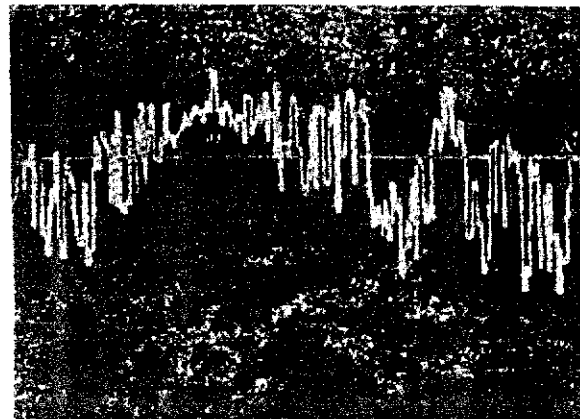
Для аналізу застосовувалася інтерактивна обробка космічної відеоінформації і одержувані в результаті калібрувань і натурних експериментів залежності спектральних яскравостей від ступеня "антропогенності". На одержуваних оптичних щільностях аналізованого зображення поділяється на класи по різних рівнях щільності (використовувалося 256 градацій), можливе використання 1024 градацій.

На мал. 2.6 представлені результати обробки космічного знімка з роздільною здатністю 250 м). На фотографії добре видні зони підвищеної "антропогенності".

Знімки, що зроблені в діапазоні 0,5-0,7 мкм, дозволяють більш чітко виділяти аерозольні забруднення в атмосфері.

Для аналізу просторової і тимчасової динаміки антропогенних впливів використовувалися регістрограми варіацій оптичних щільностей уздовж кожного з горизонтальних і вертикальних перетинів зображення. На мал. 2.7 показана регістрограма "антропогенності" уздовж горизонтального перетину (A→A') через отримане зображення. Видні зони, що піддані сильному антропогенному впливу (а) і відповідають максимальним значенням на регістрограмі. Інші області відповідають різного ступеня антропогенного впливу, що може бути кількісно визначено з приведеної регістрограми.

На мал. 2.7 чітко видні аерозольні хмари піщаних і сольових часток, що поширюються під час сильних вітрів над Аральським морем з його висхідного східного берега.



Малюнок 2.6 – Регістрограма, що описує ступінь антропогенного впливу (знімок із супутника в спектрі 0,7- 1,1 мкм)



Малюнок 2.7 – Фотографія хмар піщаних і сольових часток над Аральським морем (діапазон 0,5-0,7 мкм) (квітень 1983 р.)

Приведені приклади дають уявлення про новий напрямок (особливо ефективний у сполученні з наземними спостереженнями) у розвитку екологічного моніторингу.

Таким чином, слід зазначити, що в даний час уже мається великий досвід використання інформації із супутників (у першу чергу, багатоспектральних даних) для вивчення екологічних антропогенних змін, виявлення причин цих змін.

Контрольні питання

1. Визначення екологічного моніторингу.
2. Задачі екологічного моніторингу.
3. Які показники характеризують зміни в екологічній рівновазі?
4. З чого складається моніторинг антропогенних впливів?
5. Охарактеризуйте моніторинг ефектів, що викликаються впливами.
6. Рівні впливів у глобальному і регіональному масштабах.
7. Глобальний і регіональний моніторинг.
8. Організація екологічного моніторингу на суші та в океані.
9. Які дистанційні методи одержання екологічної інформації Вам відомі?

МОДУЛЬ 3. КЛІМАТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ

Тема 3.1. Основні задачі

Функціонування системи глобального і регіонального кліматичного моніторингу, служб збору кліматичних даних необхідно для практичного використання інформації про клімат, що представляється при веденні розвитку господарства, вивченні клімату і його можливих змінах і коливаннях для цілей оптимізації взаємодії людини з природою.

Такі дані вже тривалий час збираються і представляються зацікавленим організаціям і особам багатьма національними метеорологічними службами. Всесвітня метеорологічна організація (ВМО) забезпечує міжнародний обмін цими даними і сприяє їхньому використанню в практичній діяльності.

Визначивши моніторинг природного середовища як інформаційну систему, що дозволяє виділити зміни стану біосфери під впливом антропогенної діяльності під терміном "кліматичний моніторинг" будемо розуміти інформаційну систему, що дозволяє виділяти антропогенні зміни коливання клімату.

Очевидно, що для виділення антропогенних складових змін і коливань клімату необхідні спостереження, оцінка і прогноз таких антропогенних змін.

Якщо клімат розглядається як сукупність станів атмосфери, повторюваність умов погоди, його можна описати набором статистичних характеристик можливих станів атмосфери. Стан атмосфери визначається набором метеорологічних величин, характеризується сукупністю атмосферних явищ і процесів, тому спостереження, виміру характеристик стану атмосфери

які осередненні за визначений інтервал часу, будуть безпосередньо відповідати моніторингу клімату.

Стан атмосфери, характер процесів, що протікають у ній, залежать від фізичних властивостей і складу атмосфери, від факторів, що впливають на неї, і можуть істотно мінятися в результаті взаємодії атмосфери зі всіма елементами біосфери і, у першу чергу, із поверхнею, що підстилає.

Саме тому для розуміння змін і коливань клімату необхідні дані про стан кліматичної системи атмосфера – океан – поверхня суші (із ріками і озерами) – кріосфера – біота і про взаємодію елементів цієї системи за тривалий період часу, тобто здійснення кліматичного моніторингу.

Очевидно, що для виділення антропогенних змін і коливань клімату необхідно також ретельно вивчити природну мінливість клімату.

Збір даних про клімат минулого також можна віднести до кліматичного моніторингу – для цієї мети потрібно створити систему збору і вивчення викопних і інших непрямих даних про можливі коливання і зміни клімату за останні сторіччя, тисячоріччя і більш віддалені інтервали часу (аналіз кілець дерев, у тому числі і давно загиблих, зразків донних відкладень, моренних відкладень, колонок льоду, пилковий аналіз і т.п.). Усе це дозволить вивчити вплив змін кліматичної системи на клімат у минулому.

Для того щоб вивчити антропогенні зміни клімату необхідно вивчити вплив змін характеристик поверхні, що підстилає, за рахунок антропогенного впливу (будівництва великих гідротехнічних споруд, змін площі лісових насаджень, будівництва міст), вивчити антропогенні зміни складу і оптичних властивостей атмосфери (за рахунок викиду аерозольних часток і різних газових домішок), а також можливий вплив інтенсивних теплових викидів. Оцінка глобального атмосферного забруднення і його впливу на клімат визнана ЮНЕП однією з цілей Глобальної системи моніторингу навколишнього середовища (ГСМНС).

Природні і антропогенні зміни клімату можуть у свою чергу вплинути на стан біосфери, викликаючи різні екологічні наслідки, на нормальне функціонування окремих популяцій рослин і тварин, а також, причому істотно, на господарську діяльність людини і в остаточному підсумку на його здоров'я і добробут. Це може спричинити економічні і соціальні наслідки.

Цей розділ моніторингу є частиною екологічного моніторингу. Для його здійснення необхідна організація спеціальної системи спостережень: вивчення впливу на екологічні системи в різних регіонах, очевидно, потребуватиме комплексних спостережень у зонах, не обурених локальною антропогенною діяльністю, типу біосферних заповідників.

Кліматичний моніторинг і служби одержання кліматичних даних можуть бути спрямовані на рішення різних практичних і наукових задач. Так, рішення безлічі практичних прикладних задач – у сільському господарстві, водяному господарстві, енергетиці, будівництві, морських галузях і інших видах господарської діяльності людини – вимагає великої кліматичної інформації. Служба збору кліматичних даних для цих цілей є необхідною, хоча очевидно, що така служба виходить за рамки моніторингу антропогенних змін клімату.

Великий набір даних про окремі характеристики елементів біосфери, процеси, що визначають мінливість клімату, необхідний для вивчення змін коливань клімату, розуміння таких змін, виділення антропогенних складових. Це в першу чергу відноситься до вивчення просторово-тимчасової мінливості клімату різного масштабу.

Прогноз сезонних і міжрічних коливань клімату вимагає організації спеціальної глобальної системи спостережень, нерівномірної у просторі і в часі.

Очевидно, що спостереження, спрямовані на вивчення мінливості, повинні враховувати також інерційність кліматичної системи.

Аналіз, оцінка сучасного клімату, прогноз його можливих змін і коливань вимагають великої кількості даних, ставлять задачу всебічного аналізу стану навколишнього природного середовища і моделювання клімату.

Таким чином, найбільш важливими задачами кліматичного моніторингу є збір даних, аналіз і оцінка природних і антропогенних змін і коливань клімату (включаючи порівняння клімату минулого з кліматом сьогодення), змін стану кліматичної системи, виділення антропогенних ефектів у тих змінах клімату, що вдається знайти, виявлення природних і антропогенних факторів, що діють у напрямку змін клімату, і критичних елементів біосфери, вплив на які можуть швидше всього привести до кліматичних змін.

Для рішення цих задач поряд із створенням системи кліматичного моніторингу потрібно проведення широкої дослідницької програми моделювання кліматичних коливань і змін.

Як уже відзначалося, одержання кліматичних даних широко використовується в практичній діяльності людини, тому що найбільш розумним напрямком господарської діяльності є найкраще пристосування господарства, що розвивається, до існуючих кліматичних умов. У зв'язку з цим паралельно з кліматичним моніторингом у цьому розділі будуть описуватися ті сторони служб збору кліматичних даних, що надають інформацію, і виходить за межі приведеного вище визначення моніторингу.

Проте, необхідно відзначити, що всі ці інформаційні системи тісно зв'язані між собою.

З урахуванням усього сказаного, широке коло питань кліматичного моніторингу і питань, що відносяться до можливих змін і коливань клімату, можна згрупувати по наступним основним розділам.

1. Вимір основних метеорологічних величин, вивчення і аналіз атмосферних явищ і процесів, що характеризують відповідний режим погоди (сюди відноситься і одержання кліматичних даних для використання в організації і веденні господарської діяльності).

2. Моніторинг стану кліматичної системи. Збір даних, які характеризують реакцію кліматичної системи і її елементів на будь-які природні і антропогенні впливи.

3. Моніторинг внутрішніх і зовнішніх факторів (особливо моніторинг антропогенних факторів), що впливають на клімат і стан кліматичної системи. Моніторинг джерел цих впливів.

4. Моніторинг можливих фізичних і екологічних змін у навколишньому середовищі в результаті кліматичних змін і коливань (сюди відноситься моніторинг більшості непрямих показників мінливості клімату).

Тема 3.2. Одержання основних кліматичних даних і інформації, що необхідна для аналізу мінливості клімату

До першого розділу відносяться виміри температури повітря (включаючи шоденні екстремальні значення), атмосферного тиску, вологості повітря, швидкості і напрямки вітру, інтенсивності опадів, визначення стану хмарності (включаючи нижню границю хмар). Виміри основних метеорологічних величин (іноді в сполученні з додатковими вимірами) дозволяють здійснювати моніторинг атмосферних явищ і процесів (включаючи загальну циркуляцію атмосфери), спостереження за вологообігом. Ці дані одержують національні метеорологічні служби з відповідних станцій за допомогою різних технічних засобів.

У цей розділ необхідно включити одержання гідрологічних даних, даних про сніжний покрив, вологість ґрунту, глибини промерзання ґрунту і деякі інші. Усі ці дані одержують як на метеорологічних (кліматологічних) станціях, так і на гідрологічних станціях і постах.

За наближеними оцінками, у даний час у світі функціонує 40 тисяч кліматологічних і 140 тисяч дощомірних станцій. На жаль, ці станції розподілені на земній кулі вкрай нерівномірно, на деяких континентах їх явно недостатньо.

Міжнародний обмін основними погодними даними є головною задачею Всесвітньої служби погоди (ВСП) Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО). Всесвітня служба погоди складається з глобальної системи спостережень, глобальної системи телезв'язку і глобальної системи обробки даних. Система призначена для збереження і надання накопичених даних. Глобальна система спостережень складається з наземної і супутникової підсистем.

Наземна підсистема базується на опорній синоптичній мережі (синоптичні і аерологічні станції). Інформацію цієї підсистеми складають також дані із судів і літаків, метеорологічних радіолокаторів, різних систем зондування атмосфери.

Опорна синоптична мережа спостережливих станцій ВМО, дані котрих надходять для регулярного міжнародного обміну, складається приблизно з 2500 наземних станцій (при їхньому загальному числі більш 9400) і 967 аерологічних станцій. Про якість роботи цих станцій можна судити по наступним даним: число проведених наземних спостережень на станціях по основних термінах складає 91% необхідного числа спостережень; на аерологічних станціях (за терміни 0 і 12 ч.) – 79%. З районів Світового океану надходять щодня для глобального обміну 2600 судових (більш ніж з 7 тис. судів) і 3000 літакових зведень погоди.

Місячні кліматологічні зведення з приземними даними надходять з 1572 станцій, з аерологічними даними – з 509 станцій. Кліматичні дані, що надходять

приблизно з 1250 наземних станцій і 430 аерологічних станцій, регулярно публікуються (із зсувом приблизно на чотири місяці) у США (Ашвилл) з доручення ВМО.

Супутникова підсистема складається з двох систем: супутники, що розташовані на колополярних орбітах (радянські "Метеор" і американські NOAA і ін.), а також геостационарні метеорологічні супутники (у даний час їх нараховується п'ять). На 230 станціях одержують інформацію із супутників, що включає дані про вертикальні профілі температури і вологості, про температуру поверхні моря, поверхні суші і верхнього шару хмар, дані про поле вітру (одержувані зі спостережень за переміщенням хмар), про кількість хмарності, висоту верхньої границі хмар, про сніжний і крижаний покрив, радіаційний баланс.

На експериментальній основі буде включатися також інформація про вологість ґрунту, стан моря, а також про забруднення, розподіл часток атмосфери, а також дані, одержувані із супутників.

Регулярно передаються також дані ракетного зондування атмосфери (до висот 60-80 км).

Ще раз укажемо, що дані глобальної системи метеорологічних спостережень використовуються в першу чергу для прогнозу погоди, однак безумовно, і для підготовки кліматичної інформації.

Істотно розширилися спостереження за величинами, що характеризують стан атмосфери і її взаємодію з океаном під час Першого глобального експерименту ПДГАП.

До наземної підсистеми спостережень відносяться також станції виміру сонячної радіації і фонових забруднень атмосфери; моніторинг сонячної радіації входить у наступний розділ кліматичного моніторингу, а спостереження за складом атмосфери, очевидно, також можуть бути віднесені до першого розділу цього моніторингу. Сюди необхідно віднести вимір складових атмосфери, підданих змінам настільки, що це може впливати на клімат. До таких складових атмосфери в першу чергу варто віднести двоокис вуглецю (CO_2) і озон (O_3) (у стратосфері), різні газові домішки. Аерозольні частки природного і антропогенного походження, електромагнітне випромінювання, теплове забруднення можуть розглядатися як фактори, що впливають на клімат чи кліматичну систему (про їх докладніше говориться нижче).

Моніторинг озону здійснюється значно ширше – обмін даними (публікації світових даних по озону підготовляються в Канаді) по сумарній кількості озону проводиться приблизно по 80 станціям, причому вертикальний розподіл озону за даними озонозондових спостережень дається приблизно по 10 станціям.

Дуже важливим і широким представляється другий розділ кліматичного моніторингу – моніторинг стану кліматичної системи. Цей розділ безумовно подібний з відповідним розділом екологічного моніторингу, його системою повинна бути охоплена, власне кажучи, уся біосфера, але побудова цієї системи повинна бути такою, щоб можна було виділити саме ті ефекти, що мають

безпосереднє відношення до антропогенної зміни клімату (і вивченню його природної мінливості).

Сюди відноситься моніторинг так званих кліматоутворюючих факторів, а також величин, що характеризують реакцію кліматичної системи і її елементів (які можуть позначитися на змінах клімату) на різні впливи, головним чином, антропогенні.

Необхідним представляється одержання даних про стан поверхні, що підстилає, визначальної альbedo поверхні, моніторинг енерго- і масообміну між атмосферою і поверхнею, що підстилає. Для цього необхідно організувати вимір площі морського, річкового, озерного льоду, льодовиків; площі і обсягу сніжного покриву на рівнинах і в горах; поверхні водних об'єктів суші; поверхні і біомаси рослинного покриву; площі зон опустелювання; вимір вологовмісту в ґрунті і рослинності; спостереження і вивчення циркуляції океану, оптичних властивостей і маси атмосфери, стану озоносфери. Необхідний також контроль за змінами в практиці землекористування, тому що ці зміни можуть позначитися на змісті CO_2 і окислів азоту в атмосферному повітрі, визначають альbedo поверхні, що підстилає, вологість ґрунту і повітря (за рахунок різної евапотранспірації), температуру ґрунту і т.п..

Вивчення водного балансу у великому масштабі і його впливу на мінливість клімату (із масовим залученням гідрологічних даних) також відноситься до цього розділу моніторингу.

Усі ці фактори можна вважати кліматоутворюючими, а зміна указаних величин відповідає реакції елементів кліматичної системи на вплив.

Багато із зазначених факторів можуть вимірюватися за допомогою дистанційних методів – із супутників, а деякі з них (площі сніжного і крижаного покривів, зміни зон, покритих рослинністю) із супутників визначаються (інтегрально) навіть точніше, а головне – оперативніше. Використання супутників у цих напрямках надзвичайно перспективно (такі спостереження складають розділ, що одержав назву космічного землезнавства).

Про спостереження за станом атмосфери, її складом було сказано вище.

Моніторинг стану океану забезпечується в даний час вимірами температури поверхні і поверхневого шару океану, солоності і хімічного складу води, хвилювання і плинів на різних глибинах. Ці виміри здійснюються в рамках ВСП ВМО і ОГСОО (Об'єднаної глобальної системи океанського обслуговування) ВМО/МОК, приблизно з 7400 судів 6 постійних океанічних станцій і 40-50 буїв.

При здійсненні моніторингу стану океану необхідне вимірювання температури поверхні океану і ентальпії активного шару, вивчення циркуляції вод океану, атмосферних полів (температури, вологості, тиску, швидкості вітру, хмарності) для визначення інтенсивності енергетичного обміну між атмосферою і океаном, а також потоків коротко- і довгохвильової радіації до поверхні океану.

Для одержання даних про взаємодію атмосфери і океану (і вивчення цієї взаємодії) уже проводяться регулярні морські кліматологічні виміри температури повітря і моря, точки роси, видимості, напрямлення і сили вітру,

атмосферного тиску, хмарності і хвилювання, баті-термографічні виміри температури поверхневого шару океану.

На час Першого глобального експерименту ПДГАП була розглянута прийнята програма розширення зазначених вимірів із додаткових судів океанічних станцій і буїв.

Кріосфера істотно впливає і у свою чергу чуйно реагує на різні впливи зміни клімату. До моніторингу стану кріосфери, крім моніторингу сніжної покриву, льодовиків, морського, річкового і озерного льоду, варто віднести моніторинг зон вічної мерзлоти.

Моніторингу факторів, що впливають на стан кліматичної системи клімат (третій розділ кліматичного моніторингу), і джерел факторів впливу (причин появи чи зміни факторів) повинна приділятися дуже серйозна увага. Зазначені фактори можна розділити на зовнішні (стосовно земної кліматичної системи) і внутрішні, а джерела внутрішніх факторів – на природні і антропогенні.

До зовнішніх факторів впливу нами віднесені фактори, які обумовлені впливом Сонця і космічних випромінювань.

Серед факторів сонячного впливу необхідно відзначити електромагнітне сонячне випромінювання в широкому спектральному діапазоні (включаючи ультрафіолетову радіацію, тверде електромагнітне випромінювання, корпускулярні потоки різних енергій, магнітне поле).

Інтенсивність зовнішніх факторів впливу залежить від сонячної активності, параметрів орбіти Землі, швидкості обертання Землі.

Ефекти впливу визначаються інтенсивністю факторів впливу властивостями і складом атмосфери Землі, властивостями земної поверхні (альbedo земної поверхні).

Хоча коливання загального сонячного випромінювання в широкому діапазоні довжин хвиль (сонячної постійної) дуже незначні (у межах 1% цієї величини), зміни сонячної активності нерідко виявляються зв'язаними з різними процесами в атмосфері і кліматичних змінах. Так, очевидно, зміни магнітного поля, зв'язані зі змінами границь сонячного вітру, позначаються на тропосферній циркуляції; зміни активності Сонця в масштабі одиниць десятих років можуть впливати на інтенсивність посух у різних частинах земної кулі; довгоперіодні (у масштабі сторіч) коливання активності Сонця можуть у значній мірі визначати зміни типу "малого льодовикового періоду".

Усе це ставить серйозні вимоги до вимірів сонячної радіації – сонячної постійної, вимірам у різних спектральних діапазонах, вимірам корпускулярних випромінювань. Очевидно, буде потрібна точність виміру сонячної постійної порядку 0,1% і в різних частинах спектра сонячного випромінювання (особливо в ультрафіолетовій частині) – до 1%.

Виміри сонячної радіації проводяться світовою актинометричною мережею (більш 900 станцій). Виміряється пряма, розсіяна, відбита радіація, визначається інтегральна прозорість атмосфери, альbedo поверхні, що підстилає, розраховуються сумарна радіація, баланс короткохвильової

довгохвильової радіації. Дані представляються у Світовий центр у Санкт-Петербурзі, де вони щорічно публікуються.

Розподіл існуючих актинометричних станцій на земній кулі нерівномірний: у Європі і Північній Америці відстань між такими станціями складає 100-400 км, а в Африці, Південній Америці і Азії ця відстань досягає більш 1000 км. На думку експертів ВМО, середня відстань між такими станціями повинна складати приблизно 500 км, це вимагатиме розширення глобальної мережі станцій приблизно на 20%.

Виміри ультрафіолетової радіації проводяться озониметричними станціями, рентгенівського і твердого електромагнітного випромінювання, потоків сонячного корпускулярного випромінювання – із штучних супутників Землі, космічного випромінювання – на спеціальних станціях і із супутників.

До внутрішніх факторів, що впливають на клімат і кліматичну систему і, що впливає на мінливість клімату, нами віднесені теплові викиди і викиди (улучення) різних речовин у біосферу чи перерозподіл їх між різними середовищами – природні (виверження вулканів, вивітрювання гірських порід) і антропогенні (виділення тепла при використанні енергії людиною, забруднення біосфери, випромінювання різних антропогенних джерел). Перераховані фактори впливу ведуть до зміни властивостей кліматичної системи – міняється альbedo поверхні, що підстилає, і атмосфери, вологообіг, тепло- і газообмін поверхні, що підстилає, з атмосферою.

Теплові викиди ведуть до нагрівання атмосфери. Загальний глобальний викид антропогенного тепла поки складає близько 10^4 сонячного тепла, і ефектом глобального антропогенного нагрівання поки, очевидно, можна знехтувати. Однак локальні ефекти нагрівання атмосфери можуть бути дуже значними (наприклад, у великих містах).

Так, якщо порівняти середню температуру за п'ять років в околицях Москви (Серпухов, Коломна, Можайськ) і в самій Москві, то виявиться, що температура в Москві помітно вище. У першому випадку середня температура складає $+4,8^{\circ}\text{C}$, у другому $+5,6^{\circ}\text{C}$. Істотна різниця в $0,8^{\circ}\text{C}$, мабуть, відбиває вплив величезного міста (головним чином, за рахунок теплових викидів і зміни альbedo).

При вимірах змін складу атмосфери і вивченні можливих впливів цих змін на клімат особлива увага повинна бути приділена спостереженням за змістом і зміною концентрацій CO_2 в атмосфері, за процесами обміну двоокису вуглецю з океаном і наземною біотою.

Відомо, що підвищення концентрації двоокису вуглецю в атмосфері веде до збільшення поглинання довгохвильової радіації, що йде, а отже, до нагрівання атмосфери (парниковий ефект), тобто до можливої зміни клімату.

Прецизійні виміри змісту двоокису вуглецю в атмосфері (наприклад, на станції Мауна-Лоа, Гавайські острови) указують на безупинне збільшення цього змісту. Таке збільшення зв'язується з антропогенною діяльністю – спалюванням мінерального палива.

Багато вчених зв'язують потеплення в північній півкулі земної кулі саме з антропогенним збільшенням змісту двоокису вуглецю в атмосфері і

прогнозують істотне потепління в найближчі десятиліття – порядку 1°C деякі і більш). Таке потепління може дуже значно вплинути на біосферу людську діяльність.

Збільшення змісту двоокису вуглецю і ряду інших газових домішок зростає вважається найбільш значимим антропогенним фактором, здатним вплинути на клімат у найближчі роки. Тому повинна бути приділена особлива увага ретельному виміру концентрації двоокису вуглецю (а також закису азоту, фреонів, тропосферного озону) в атмосфері, вивченню балансу вуглецю біосфери, обміну CO_2 із глибинними шарами океану, впливу нафтової плівки на газообмін між океаном і атмосферою.

Підвищення змісту стратосферних аерозолів веде, як правило, до зворотного ефекту – можливого похолодання через відображення частини падаючого сонячного випромінювання. Крім того, аерозольні частки можуть впливати на клімат і непрямим шляхом, сприяючи утворенню хмарності.

Тому моніторинг аерозольної складової у тропосфері і стратосфері обов'язковим у цьому розділі кліматичного моніторингу.

Зміст аерозольних часток в атмосфері може мінятися як у силу природних причин (виверження вулканів, піщані бури), так і в силу антропогенної діяльності (викиди промислових підприємств, масова оранка ґрунту наступним вивітрюванням).

З інших домішок (антропогенного походження), що попадають в атмосферу, уваги заслуговують речовини, здатні вплинути на озоносферу в результаті порушення природного азотного, водневого і хлорного циклів реакцій у стратосфері. Це зв'язано в першу чергу з ульчненням у нижній атмосфері хлорфторметанів (галогеновуглеводнів, фреонів), що впливають на хлорний цикл, і закису азоту, що впливає на азотний цикл. Ці речовини інертними в тропосфері (і нерозчинні у воді): дифундуючи, вони досягають стратосфери. У стратосфері фреони піддаються фотодисоціації, а хлор, що виділився, включається в хлорний цикл, зв'язаний з розкладанням озону.

Характерною рисою зазначених циклів реакції є їх каталітичний характер, коли атом азоту, хлору і водню багаторазово у виді різних радикалів взаємодіє з озоном, порушує природну рівновагу між процесами утворення і руйнування озону.

Джерелами фреону є холодильні установки. Фреон використовується також при аерозольних обробках (загальне світове споживання складає близько 1 млн. т у рік). Закис азоту утворюється в значній кількості при використанні азотних добрив.

При польотах висотної авіації безпосередньо в стратосферу викидаються окисли азоту і пари води. У результаті фотолізу з молекул води також утворюються радикали, що беруть участь у реакціях з озоном.

Порушення існуючої рівноваги в озоносфері, зменшення кількості озону змінює розподіл потоків ультрафіолетового випромінювання в стратосфері на різних висотах. Це може привести до зміни температури на цих висотах, вплинути на характер циркуляції у верхній атмосфері, подіяти на тепловий баланс усієї атмосфери, тобто привести до певних змін погоди і клімату.

Моніторинг безпосередньо фреонів чи закису азоту в стратосфері представляє значні труднощі через низькі концентрації і їхню хімічну інертність. Доцільно мати регулярну і широку мережу спостережень за озоном (загальною кількістю у вертикальному стовпі і розподілом по висоті).

Виміри змін основних складових атмосфери і забруднень проводяться на національному рівні в багатьох країнах. Цей вид вимірів є найважливішою складовою частиною глобальної системи моніторингу (це обговорюється в інших розділах книги) і глобальної системи спостережень ВСП ВМО.

Виміри фонових рівнів забруднення атмосфери здійснюються на мережі фонових станцій Всесвітньої метеорологічної організації, що складається з 176 станцій (це число незабаром досягне 197), із яких 75 передають дані про хімічний склад опадів, 60 повідомляють дані про мутність атмосфери.

Проводяться спеціальні виміри аерозольної складової атмосфери, непрямі дані про аерозолі одержують при порівнянні прямої і розсіяної радіації при актинометричних спостереженнях.

Теплові викиди оцінюються по зміні температури (у повітрі і воді) у зоні викидів. Вулканічна діяльність ретельно фіксується – складається каталог усіх великих вивержень вулканів на землі.

Зміни властивостей елементів кліматичної системи – зміна характеру поверхні, що підстилає, за рахунок антропогенних (створення іригаційних систем, перерозподіл водних мас, оранка ґрунту, зміна площ лісових і сільськогосподарських насаджень, урбанізація) і природних (зміна площі сніжного покриву, морського льоду) причин, зміна складу і властивостей атмосфери (прозорості) за рахунок викиду аерозольних часток і різних речовин – є кліматоутворюючими факторами і можуть бути також віднесені до факторів, що впливають на клімат і кліматичну систему.

Варто обмовитися, що в багатьох випадках деякі з перерахованих факторів можна вважати зовнішніми стосовно частини системи, де визначаються ефекти впливу і зміни. Так, наприклад, розглядається схема, у якій розрізняються також внутрішні і зовнішні системи. До зовнішньої системи, крім сонячного потоку, віднесені характеристики поверхні суші, альbedo рослинного покриву.

Як уже відзначалося, багато перерахованих вище факторів, що впливають на клімат, з успіхом вимірюються (чи можуть спостерігатися) із штучних супутників Землі (ШСЗ).

До четвертого розділу кліматичного моніторингу віднесений моніторинг наслідків кліматичних змін і коливань (у біосфері).

Зміни і коливання клімату можуть істотно позначитися на стані біосфери і у зв'язку з цим на господарській діяльності людини. По-цьому вивчення змін у біосфері під впливом кліматичної мінливості, у тому числі змін екологічного характеру, є практично важливим.

Очевидно, що деякі ефекти в біосфері (зміна волюгообігу, загальної біомаси в екосистемах і т.д.), що виникають як результат кліматичних змін, можуть підсилити чи послабити дію інших факторів (у результаті наявності зворотних зв'язків).

Моніторинг змін у біосфері, зв'язаних із кліматичними змінами коливаннями, стає важливим напрямком моніторингу.

Зміни, що виникають в елементах кліматичної системи, екологічні наслідки змін клімату є, як правило, чутливими показниками самого факта змін (чи коливання) клімату.

Найбільш чутливими до змін клімату є елементи біосфери, розташовані в полярних широтах (полярні льоди, тундрові екосистеми, екосистеми шельфових полярних зон), у посушливих місцях (озера, розташовані в посушливих районах), екосистеми пустельних зон, а також екосистеми, розташовані високо в горах (альпійські екосистеми).

Такі характеристики змін у біосфері нерідко називають непрямыми показниками змін клімату.

До непрямих показників змін клімату відносять такі відносно просто вимірювані зміни, як зміна рівнів морів, озер і рік, зміна положення берегової лінії, границь різних природних зон, зміна річних шарів донних відкладень озер і річних шарів у льодовиках, зміна снігової лінії і місць постійного скупчення снігу в горах, границь поширення льодовиків.

Сюди ж можна віднести і ряд екологічних ознак – зміна характеру рослинності, врожайності різних культур, морський мікрофлори і мікрофауни, зміна популяцій комах, характеру поширення хвороб тварин і рослин, у першу чергу, в зонах з найбільшою чутливістю до змін клімату. При організації спостережень за такими ознаками важливо виключити локальні антропогенні впливи (наприклад, рівень ріки чи озера може різко зменшитися в результаті вилучення частини стоку для зрошення).

Описані вище дані необхідні для проведення всебічного аналізу стану навколишнього середовища і моделювання клімату. Підкреслимо, що всебічний аналіз стану природного середовища і моделювання клімату дозволить виділити критичні фактори впливу і найбільше чутливі елементи біосфери (з погляду наступного впливу на клімат), що забезпечить оптимізацію системи кліматичного моніторингу.

Тема 3.3. Пріоритетність і точність вимірів

Визначення пріоритетності у виборі величин і факторів при організації кліматичного моніторингу і точність вимірів визначаються конкретними цілями, для яких призначається одержувана інформація.

Як уже відзначалося, отримана інформація може використовуватися для рішення прикладних питань, зв'язаних із різними напрямками людської діяльності (у сільському господарстві, будівництві, енергетиці, комунальному господарстві і т.д.); для моделювання клімату, що ставить метою визначення чутливості клімату до змін різних параметрів, і для пророкування можливої мінливості клімату; для виявлення наступаючих змін клімату, виділення антропогенної складової у цих змінах і визначення причин таких змін.

Вибір величин, необхідних, у першу чергу, для рішення різних прикладних задач, вимоги до точності їхніх вимірів повинні визначатися для кожного напрямку діяльності людини з урахуванням її специфіки, технічного

рівня і місцевих особливостей. Ця робота, як правило, проводиться національними метеорологічними службами. Тут, очевидно, у подальшому доцільно йти по лінії заповнення пробілів в існуючій кліматологічній мережі станцій, створення банків кліматичних даних.

Важливим питанням є вибір величин і визначення серед них пріоритетності для найважливішої задачі – моделювання клімату. Це питання детально пророблялося у зв'язку з другою задачею Програми досліджень глобальних атмосферних процесів (ПДГАП) і підготовкою Першого глобального експерименту ПДГАП.

Нижче приводиться зведена табл. 3.1 що відбиває точку зору експертів різних країн на порядок і точність вимірів, необхідних під час і після проведення Першого глобального експерименту ПДГАП для моделювання клімату (як інтервали дані необхідні і бажані значення точності вимірів). Викладені вимоги сформульовані в доповнення до існуючого для збору даних на базі Всесвітньої служби погоди (ВСП).

Таблиця 3.1 – Величини (у порядку їхньої пріоритетності), необхідні для моделювання клімату, і необхідна точність їхніх вимірів

Вимірювана величина	Точність (1σ)	Дозвіл	
		у часі, доби	в просторі, км
Радіаційний баланс системи Земля – атмосфера	2-15 Вт/м ²	5	100-500
Хмарність	5% по кількості, 1°C по температурі верхньої частини	5-15	100-500
Температура поверхні і ентальпія діяльності шару океану	0,5-1,5°C 1-3 ккал/см ²	5-10	100-500 200
Довжина сніжного покриву і морського льоду		5-15	50-100
Альbedo земної поверхні	0,01-0,03	5-15	100-500
Опади над сушею і морем	1-3 мм/добу	5-15	100-500
Вологість ґрунту і стік з основних річкових басейнів	10%	5, 15-30	100-500
Температура поверхні ґрунту і льоду	1-3 °C	5	100-500
Газові складові атмосфери і частки водяна пара	1-5%	1-5	500
озон (загальна кількість, розподіл по висоті)	±0,5 м.л.м ⁻¹ , 2 км по вертикалі	1	100-500
двоокис вуглецю тропосферні і стратосферні аерозолі	±0,1 млн., об'ємна щільність 5%	15	Рідка мережа
мутність атмосфери	1%	7	
Дотичне напруження вітру	0,1-0,4 дин/см ²	5-10	200
Рівень моря	2-10 см	5-10	200

Крім перерахованих у табл. 3.1, будуть потрібні також виміри характеристик поверхневих плинів, виміру глибинної циркуляції океану, товщини і дрейфу морського льоду, спостереження за станом полярних крижаних щитів (змінюю їхніх границь, товщини).

Дані розробки, власне кажучи, є формулюванням вимог до точності вимірів системи спостережень, що розвивається (майбутньої).

У табл. 3.1 указується також необхідне і бажане вирішення вимірів у просторі і в часі (у виді інтервалів), що повинно бути відносно рівномірним по всій земній кулі.

Однак представляється, що у виборі просторового і тимчасового доз необхідно визначити свої пріоритети. Так, академік Г.І. Марчук, розробляючи нові підходи в гідродинамічних довгострокових прогнозах погоди, заснованих на спільному рішенні рівнянь гідротермодинаміки для атмосфери і океану, використанні сполучених рівнянь, показав, що при прогнозі аномалій температур (на один-два сезонів уперед) у заданих районах земної кулі використанням апріорної інформації про кліматичний режим атмосфери і океану і фактичних даних роль районів земної кулі (Світового океану), впливають на ці аномалії, різна. Показано, що погода в ряді регіонів північної півкулі істотно визначається станом океану і його взаємодією з атмосферою екваторіальній частині Атлантичного океану і деяких районів Тихого океану.

Це висуває підвищені вимоги до моніторингу стану атмосфери і океану, спостереження за полями хмарності, полями випромінювань у цих областях.

Зони Світового океану, що впливають на клімат того чи іншого регіону, особливо сильно, очевидно, повинні бути охоплені більш частою (у часі і просторі) мережею спостережень. Точність виміру різних параметрів у зонах також повинна бути підвищеною. Точність виміру основного параметра температури поверхні моря – у таких зонах повинна бути не гірше $0,2^{\circ}\text{C}$.

Для визначення можливих змін клімату повинні бути обрані як прямі, так і непрямі показники зміни стану найбільш чутливих до змін клімату елементів біосфери (у глобальному і локальному масштабах).

В даний час докладно описані можливі наслідки і перетворення найбільш чутливих елементів біосфери, зв'язані з можливими змінами клімату. До показників зміни клімату віднесена: осереднена температура повітря, у першу чергу, для високих широт, границі морського льоду в полярних областях і їх довжина, границі льодовиків у високих і середніх широтах, рівень внутрішніх морів і озер, опади і вологовміст у ґрунті.

Найбільш складною є задача виділення антропогенної складової можливих кліматичних змін, а також пошук причин таких змін, джерел, що найбільш сильно впливають на зміни факторів.

Як відомо, найбільш серйозними антропогенними причинами можливої зміни клімату є: збільшення в атмосфері вуглекислого газу і інших газових домішок, що поглинають довгохвильові випромінювання і впливають на озоносферу Землі; виділення антропогенного тепла; викид в атмосферу часточок речовин, що формують шари стратосферних і тропосферних аерозолів. Антропогенні аерозолі змінюють відбивну здатність атмосфери, а також, діючи як ядра конденсації, впливають на процеси опадоутворення. Різні способи землекористування, зміна рослинності ведуть до зміни альбедо Землі. Однак недостатньо вивчити ці процеси в цілому, необхідний регулярний моніторинг цих впливів у просторі і в часі, а також моніторинг ефектів, викликуваних ними.

Для рішення задачі виділення антропогенних змін клімату необхідно виділити елементи, найбільш підданому антропогенному впливу – деякі компоненти радіаційного балансу, прозорість атмосфери, зміст в атмосфері різних газових домішок, аерозолів і т.д.

Очевидно, що легше виявити локальні антропогенні зміни клімату, чим глобальні. Зміни в полярних широтах мають велику амплітуду, чим у середніх чи низьких широтах, тому виділення антропогенних ефектів простіше проводити саме у високих широтах.

Для виявлення антропогенних ефектів будуть потрібні спостереження великої точності, вимога до якої може бути визначена за допомогою моделювання.

Сформульовані вимоги ставлять задачу спостережень і вимірів величезної кількості величин; якщо така система почне функціонувати, вона буде представляти величезне число даних. У зв'язку з цим буде потрібна істотна фільтрація одержуваних даних; на більш ранній стадії необхідна фільтрація (шляхом визначення пріоритетності) вимог, пропонованих до системи спостережень і точності вимірів.

Кліматичний моніторинг і служба збору даних, що мають відношення до змін і коливань клімату, вимагають використання і розвитку новітніх технічних засобів спостережень, особливо дистанційних (у тому числі з використанням радіолокаторів і лазерної техніки), і автоматизованих систем обробки даних. Виняткова роль у розвитку такої системи і одержанні відповідних даних повинна приділятися супутниковим засобам. Доцільна комбінація наземних спостережень і спостережень із космосу.

Тема 3.4. Супутниковий кліматичний моніторинг

У цьому розділі розглядається можливість (і доцільність) використання супутникових систем для одержання інформації про клімат Землі і стан кліматичної системи.

В даний час із супутників можливий вимір більшості метеорологічних величин і основних характеристик кліматичної системи. Іноді ці виміри скрутні, точність їх ще не висока, однак деякі спостереження із супутників проводяться вже більш успішно, чим за допомогою наземних засобів.

З урахуванням можливостей існуючих супутникових систем і тих, що розвиваються, і доцільності організації тих чи інших вимірів для одержання більш точної інформації про клімат Землі і стан кліматичної системи виділимо наступні напрямки функціонування супутникових систем.

1. Виміри метеорологічних величин і одержання інших даних, важливих для розуміння коливань і змін клімату, у місцях, де маються наземні спостережливі засоби.

2. Виміри тих же величин у важкодоступних для наземних вимірів районах:

- а) у континентальних областях,
- б) в океанічних областях.

3. Виміри величин і факторів, важкодоступних чи, що не піддаються прямим визначенням із поверхні землі:

- а) інтегральних характеристик поверхні, що підстилає, (альбедо, величини, що характеризують енерго- і масообмін поверхні, що підстилає, з атмосферою);

б) деяких компонентів радіаційного балансу системи Земля-атмосфера (відбите сонячне випромінювання і довгохвильове випромінювання земних об'єктів, що йде);

в) корпускулярного і твердого електромагнітного сонячного і космічного випромінювання.

4. Використання супутників для оперативної передачі даних із важкодоступних областей земної кулі.

Пропонується наступна пріоритетність використання перерахованих можливостей (пункти 1-3) супутникових систем для одержання кліматичної інформації:

Пункт	1	2(а)	2(б)	3(а)	3(б)	3(в)
Пріоритет	III	II	I	II	I	I

При визначенні пріоритетності приймалася до уваги наявність вже існуючих наземних систем спостереження.

В даний час із супутників проводяться (чи можуть проводитися) такі найважливіші спостереження, як спостереження полів хмарності і вітру; температури і вологості повітря на різних висотах; температури поверхні океану; довжини (границь) морського льоду і сніжного сезонного покриву суші; зон, покритих рослинністю (їх характеристик їхнього стану) на суші і планктонном в океані; вологості ґрунту, зон і інтенсивності опадів; основних компонентів радіаційного балансу.

Поля хмарності ідентифікуються вже більш десяти років. Просторовий розподіл і структура визначаються шляхом фотографування у видимому і ІЧ діапазонах. Ведуться успішні роботи з виміру фазового стану хмар (шляхом зіставлення результатів виміру радіояскравісної температури хмар у смузі поглинання рідиннокраплинної води в області 0,8 см і радіаційної температури у вікні прозорості 10-12 мкм), висоти і температури верхньої границі хмар (фотометричним і радіометричним методами).

Потрібно збільшення точності у визначенні висоти хмарності. Цим цілям повинний служити Міжнародний проект по супутниковій кліматології хмар.

Температурні профілі в атмосфері визначаються з аналізу даних інфрачервоного чи мікрохвильового випромінювання в смугах поглинання для газів з відомою концентрацією (двоокис вуглецю, кисень). Точність відновлених профілів досягає 2-3°C до висот 30-35 км.

Становить інтерес супутникова інформація про поле вітру, відновлене по дрейфі хмар нижнього і верхнього ярусів. Швидкість вітру в океані можна визначати по підвищенню радіояскравісної температури, зв'язаному зі збільшенням кількості піни (її утворення починається при швидкості вітру 7 м/с). За рахунок цього ефекту можливе відновлення швидкості вітру з точністю ± 2 м/с в інтервалі 5-30 м/с. Перспективне використання ІЧ лидарного зондування, де точність може бути підвищена. Для відновлення атмосферного тиску використовується метод поглинання СВЧ випромінювання (в області 30-70 ГГц), тут точність може досягати 1,5-2,0 гПа.

Точність супутникового визначення опадів невелика, оскільки воно засновано на зв'язку між яскравістю хмар і інтенсивністю опадів; тут майбутнє, безумовно, належить активній радіолокації.

Визначення температури поверхневого шару води океану робиться за допомогою вимірів випромінювання у вікнах прозорості в ІЧ і СВЧ діапазонах спектра; точність вимірів складає $\pm(1...1,5)^\circ\text{C}$ и обмежується (особливо в ІЧ діапазоні) поглинанням хмарністю, шарами пилу і інших атмосферних перешкод. Необхідно підкреслити важливість визначення температури поверхневого шару океану; так, по цій величині можна приблизно визначити ентальпію діяльного шару океану і використовувати цю величину для кількісних суджень про турбулентний обмін тепла і вологи між атмосферою і океаном. У зв'язку з цим потрібна точність у визначенні температури поверхневого шару океану до декількох десятків часток градуса.

Розробляються методи вертикального зондування температури і щільності підповерхневого шару океану аж до границі шару перемішування. Точність визначення температури суші трохи гірше.

Границі і довжина крижаного і сніжного покривів визначаються у видимому діапазоні з високою точністю. Сполучення одночасних спостережень у видимому і ІЧ діапазонах дозволяє визначити різні типи полярних льодів, а виміри в мікрохвильовому діапазоні (в області довжин хвиль близько 1,5 см) — розрізнити з великою точністю області покриття льодом і чистою водою, льоди різного віку і товщини.

Виятково цікаві дані отримані за допомогою локатора бічного огляду (активна локація), що діє на метеорологічних супутниках.

Важливі властивості поверхні (рослинність, кількість планктону в океані) визначаються з використанням багатоспектральних зображень.

Кількість і розподіл планктону в океані може бути отриманий за даними вимірів хлорофілу по смузі поглинання відбитого сонячного випромінювання в області 0,43 мкм і інтенсивності люмінесценції фітопланктону.

Визначення вологості ґрунту і опадів можливо за допомогою мікрохвильових радіометрів.

Маються широкі можливості вимірів із супутників ряду характеристик елементів кліматичної системи і інших параметрів, підданих антропогенним впливам.

Антропогенні впливи можуть істотно вплинути на мутність атмосфери, сприяють збільшенню двоокису вуглецю в атмосфері, появі домішок, що впливають на озоносферу (галогеновуглеводні, закис азоту).

Шари пилу (мутність атмосфери) ідентифікуються із супутників шляхом фотографування області обрію і кутового розподілу і поляризації розсіяної сонячної радіації.

Оптична товщина атмосфери визначається по вимірах кутового розподілу відбитої сонячної радіації в інтервалах видимого і ближнього ІЧ діапазонів спектра (0,55; 0,74; 1,0; 2,2 мкм).

Розподіл аерозольних часток визначається з вертикального розподілу коефіцієнта аерозольного ослаблення в смугах поглинання складових атмосферу газів із постійною концентрацією.

Загальна кількість деяких газових компонентів атмосфери, таких, як водяна пара, двоокис вуглецю, озон, може визначатися з використанням спектрометрії смуг поглинання випроміненої теплової (в ІЧ діапазоні для озону 9,6 мкм) і відбитої (і розсіяної) сонячної радіації в УФ діапазоні спектра. Можливо також визначення вертикального розподілу озону. Пошарове визначення водяної пари можливо по вимірах смуг поглинання в області 6,3 і 20-25 мкм в ІЧ діапазоні і в області 1,35 см у СВЧ діапазоні.

На взаємодію океану з атмосферою, величину альbedo поверхні океану може істотно вплинути забруднення нафтопродуктами, утворення на поверхні океану плівок, що порушують масообмін між океаном і атмосферою.

Дані про забруднення поверхні океану одержують шляхом виміру сонячної зворотної радіації і власного випромінювання. У системах дистанційного виявлення нафтових і інших забруднень використовуються випромінювання в ультрафіолетовому, видимому, інфрачервоному і СВЧ діапазонах. Оцінки зміни солоності води можна одержати шляхом СВЧ радіометричних вимірів.

Як відзначалося в попередній главі, роль супутникових даних для одержання інформації про антропогенні зміни поверхні суші винятково велика. Ці дані важливі для розуміння причин можливих змін клімату. За даними із супутників можна оцінити зміну рослинного покриву за рахунок вирубки лісів, опустелювання, зміни характеру сільськогосподарських культур, що дає можливість судити про причини зміни альbedo земної поверхні. Ефекти, зв'язані з урбанізацією, також позначаються на альbedo. Великі іригаційні спорудження, перерозподіл водних ресурсів впливають на характер валогообігу і альbedo поверхні; ці зміни і зміни сніжного покриву в районі міст і промислових районів легко прослідковуються із супутників при фотографуванні у видимому і ІЧ діапазонах.

Компоненти радіаційного балансу, що відповідають відбитому сонячному випромінюванню (у спектральному діапазоні 0,3-3,0 мкм) і тепловому випромінюванню з поверхні Землі (у діапазоні довжин хвиль 3-100 мкм), істотно залежать від антропогенних факторів (антропогенної зміни альbedo земної поверхні, інтенсивності теплового випромінювання земних об'єктів).

Усі компоненти радіаційного балансу Земля-атмосфера визначаються із супутників, причому деякі компоненти можуть визначатися з кращою точністю, чим із поверхні землі.

Антропогенні зміни в навколосезонному космічному просторі також визначаються за допомогою супутникових спостережень. Так, штучні радіаційні пояси Землі були визначені радіометричними приладами, установленними на супутнику.

У дійсній главі відбиті і узагальнені існуючі точки зору фахівців різних країн і міжнародних організацій на кліматичний моніторинг і службу збору кліматичних даних.

На закінчення треба ще раз підкреслити необхідність виділення з великого числа характеристик природного середовища і факторів впливу найбільш важливих, пріоритетних з погляду задоволення поставленим задачам, таких, як одержання основних кліматичних даних для рішення прикладних задач, визначення характеристик стану кліматичної системи і факторів впливу на цей стан, необхідних для вивчення і розуміння змін і коливань клімату в різних масштабах, виділення антропогенних впливів і ефектів кліматичних змін.

Найбільш актуальною задачею є організація такої системи моніторингу, за допомогою якої стало б можливим (звичайно, у сполученні з моделюванням клімату і інших підходів) надійне виділення антропогенних і інших ефектів і впливів, зв'язаних з найбільшим впливом на клімат і його зміни.

Контрольні питання

1. Визначення і основні задачі кліматичного моніторингу.
2. Які основні кліматичні дані потрібні для аналізу мінливості клімату?
3. Які наслідки кліматичних змін і коливань на елементах біосфери?
4. Що Вам відомо про вибір і пріоритетність змінюваних кліматичних величин?
5. Які кліматичні величини вимірюються за допомогою дистанційних методів (включно космічних)?

МОДУЛЬ 4. РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ І КОНТРОЛЮ СТАНУ ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

Тема 4.1. Вивчення і контроль стану природного середовища в рамках основних задач глобальної системи моніторингу навколишнього середовища

У даному розділі розглядаються Глобальна система моніторингу навколишнього середовища (ГСМНС) і шляхи її реалізації в останні роки в рамках програм ЮНЕП і різних міжнародних організацій. До компетенції такої системи при постановці цієї проблеми (на рівні ЮНЕП) був віднесений моніторинг будь-яких змін (і тенденцій у цих змінах) стану природного середовища (як природних, так і антропогенних), широкий спектр спостережень за станом природного середовища, у тому числі і такі, котрі здійснюються на земній кулі вже багато десятиліть (наприклад, метеорологічні).

Деякі з названих спостережень виходять за рамки Глобальної системи моніторингу навколишнього середовища. Наприклад, організація служби попередження про стихійні лиха, що насуваються, хоча і має винятково самостійне значення, навряд чи вписується в загальну логіку глобальної системи моніторингу як системи оцінки, головним чином, антропогенних змін стану середовища.

У 1972 р. на Стокгольмській конференції ООН по навколишньому середовищу було запропоновано організувати Службу Землі (Earthwatch), що у даний час є частиною Програми ООН по проблемі навколишнього середовища

(ЮНЕП). К компетенції Служби Землі були запропоновані Глобальна система моніторингу навколишнього середовища, оцінка, дослідження і обмін інформацією. Основна задача ГСМНС була визначена як задача раннього попередження про наступаючі природні¹ чи антропогенні зміни стану природного середовища, що можуть нанести прямий чи непрямий збиток здоров'ю чи добробуту людей.

Моніторинг був визначений як "система безупинного спостереження, виміру і оцінки для визначених цілей".

В наступні роки ідея ГСМНС піддавалася докладному обговоренню, спочатку дискусія велася в основному навколо проблеми моніторингу забруднень (вважалось, що це найважливіша перша фаза моніторингу), питання окремих екологічних проблем (у тому числі проблем біологічних ефектів забруднень) і проблем, зв'язаних з моніторингом природних ресурсів, що поновлюються, обговорювалися менш інтенсивно.

Важливим етапом у виробленні концепції ГСМНС з'явилася Міжурядова нарада по моніторингу в Найробі в лютому 1974 р. На нараді була почата спроба збалансувати задачі ГСМНС (мається на увазі рівна увага антропогенним забрудненням, екологічним проблемам, зв'язаним як із впливом забруднень, так і з іншими впливами, проблемам моніторингу природних ресурсів, що поновлюються, попередженню про стихійні лиха і інші небезпеки, що грозять здоров'ю і добробуту людини); було сформульовано сім основних цілей програми ГСМНС. Нарада, однак, приділила особливу увагу питанням моніторингу забруднення природного середовища, виробивши список пріоритетних забруднювачів і факторів, зв'язаних із вивченням забруднень.

Нижче викладаються сформульовані цілі програми ГСМНС.

1. Організація розширеної системи попереджень про погрозу здоров'ю людини.

2. Оцінка глобального забруднення атмосфери і його впливів на клімат.

3. Оцінка кількості і розподілу забруднень у біологічних системах, особливо в харчових ланцюжках.

4. Оцінка критичних проблем, що виникають у результаті сільськогосподарської діяльності і землекористування.

5. Оцінка реакції наземних екосистем на вплив навколишнього середовища.

6. Оцінка забруднення океану і впливу забруднення на морські екосистеми.

7. Створення удосконаленої системи попереджень про стихійні лиха в міжнародному масштабі.

Сформульовані цілі програми ГСМНС передбачають роботу в різних напрямках; по деяких із них існуючими міжнародними організаціями в багатьох

¹ Як уже відзначалося, спостереження і оцінка природної зміни стану природного середовища (наприклад, зміни погоди) є в більшості випадків компетенцією існуючих геофізичних служб і, з погляду автора, не повинні включатися в рамки ГСМНС (хоча знання і використання цих даних для інтерпретації антропогенних змін необхідно).

країнах уже протягом тривалого часу проводяться успішні дослідження і спостереження, в інших напрямках робота тільки починається. Як уже відзначалося, деякі напрямки, хоча і відносяться до категорії спостережень за станом природного середовища, навряд чи доцільно включати в рамки системи ГСМНС. Так, наприклад, Всесвітня служба погоди Всесвітньої метеорологічної організації, що уже цілком уведена в дію, має лише часткове відношення до ГСМНС; різні її компоненти забезпечують багато країн найважливішою гідрометеорологічною інформацією, але не уся видавана інформація відіграє значну роль при ідентифікації антропогенних змін навколишнього середовища.

Для того щоб система ГСМНС, що організується, не дублювала у своїй роботі вже існуючі системи, на зазначеній нараді в Найробі були прийняті наступні важливі принципи.

1. Міжурядове співробітництво по моніторингу повинне будуватися "по можливості максимально" на основі існуючих національних і міжнародних систем.

2. Необхідно "по можливості максимально" використовувати спеціальні агентства ООН як початкову основу для координування і здійснення програми моніторингу.

3. Пріоритет повинний бути наданий глобальному і регіональному (багатонаціональному) моніторингу.

4. Система моніторингу повинна проектуватися таким чином, щоб задовольняти чітко сформульованим вимогам, а заходи щодо оцінки даних повинні бути загальною частиною проекту такої системи.

Таким чином, для багатьох цілей мова йшла не про організацію нових служб, а про максимальне використання вже існуючих систем, їхню підтримку і розвиток, ефективне використання інформації і координацію в рамках створюваних структур.

Було відзначено, що ГСМНС не є системою, у якій різні компоненти тісно зв'язані між собою, це, скоріше, ансамбль різних видів діяльності.

Дійсно, мається тісний зв'язок між цими напрямками. Перераховані цілі були об'єднані у дві великі групи: у першу увійшли всі проблеми, що відносяться до моніторингу забруднень, у другу – усі проблеми, що мають відношення до моніторингу природних ресурсів, що поновлюються, для цього напрямку введений термін "екологічний моніторинг" (хоча, власне кажучи, це моніторинг ресурсів, що поновлюються). Особняком стоїть проблема, зв'язана з попередженням про стихійні лиха, що була залишена у виді самостійного напрямку.

Таким чином, визначається вже п'ять основних задач:

- моніторинг кліматичних умов;
- моніторинг великомасштабного переносу і осадження забруднюючих речовин;
- моніторинг для цілей охорони здоров'я;
- моніторинг природних ресурсів, що поновлюються;
- моніторинг океану.

Очевидно, що для рішення задач у кожній групі моніторингу вимагаються різні підходи.

Кінцевими цілями глобального і регіонального моніторингу забруднення в системі ГСМНС є:

- 1) визначення рівнів обраних критичних забруднювачів у визначеному середовищі, їхнього розподілу в просторі і зміни в часі;
- 2) розуміння величини і швидкостей потоків обраних забруднювачів і шкідливих продуктів їхніх перетворень;
- 3) забезпечення порівнянь методів прободобору і аналізу між країнами, включаючи країни, що розвиваються, для одержання порівнянних результатів і обміну досвідом по організації систем моніторингу;
- 4) забезпечення в глобальному чи регіональному масштабі інформацією, необхідною для прийняття рішень по керуванню при боротьбі із забрудненням.

Сутужніше було визначити, як підсумовувати вихідні дані моніторингу ресурсів, що поновлюються. У рамках ГСМНС у цій проблемі розроблялася методологія і проводилося регіональне вивчення природних ресурсів у невеликих масштабах (наприклад, стану ґрунту, лісів). Вважалося, що це дозволить надалі поширити отриманий досвід у різних країнах і організувати широку мережу такого моніторингу. У всякому разі, слід зазначити в останні роки перенос центра ваги в рамках ГСМНС із моніторингу забруднень до більш збалансованого підходу, що торкається і питання моніторингу ресурсів, що поновлюються, і деяких додаткових екологічних проблем.

Вирішальним для успіху системи є контроль якості використання даних. У зв'язку з цим для всіх однотипних вимірів повинна бути забезпечена інтер-калібрування (на що може піти до 25% усіх засобів, затрачуваних на моніторинг). На це повинні бути спрямовані зусилля спеціально виділених лабораторій. Програма добору проб повинна бути обґрунтована і розумна з погляду статистики і репрезентативності проб.

Організація збереження і пошуку даних буде одним з вирішальних етапів при здійсненні ГСМНС. Проби з різних середовищ повинні бути збережені і каталогізовані, вони повинні бути доступні різним лабораторіям для необхідних перевірок і уточнень. Зберігатися проби повинні тривалий час. Як сховища для таких проб можуть використовуватися спеціально виділені для цього науково-дослідні інститути.

Нижче приводиться опис основних результатів у рамках системи ГСМНС і іншої міжнародної діяльності, спрямованої на вивчення і контроль стану природного середовища і деякі пропозиції по розвитку системи ГСМНС.

У першу групу результатів зібрані матеріали по моніторингу природних ресурсів, що поновлюються, названому в цій роботі екологічним моніторингом (4 і 5 первісні цілі ГСМНС). Сюди включені результати моніторингу стану ґрунту і рослинного покриву, моніторингу водних ресурсів, моніторингу морських ресурсів, деякі аспекти моніторингу фонових стану біосфери.

У цьому розділі моніторингу під час обговорення рекомендованих дій велике значення було приділено необхідності моніторингу зміни площ

тропічних і листяних лісів. Ці дані можуть служити показником стану глобальної біологічної системи і антропогенних впливів на неї.

Дані, одержувані за допомогою картирування зон, підданих сильному антропогенному впливу (зони оброблення сільськогосподарської продукції, урбанізовані райони, райони гірських розробок), дозволяють оцінювати зміни стану екологічних систем у широкому масштабі з урахуванням критичних проблем землекористування. Так, посухи обмежують сільське господарство на Африканському континенті на 44%, деградація ґрунтів у Північній Америці знижує їхню продуктивність на 22%, повені в Південно-Східній Азії – на 19%.

Відзначимо деякі результати зазначених робіт.

В області глобальної оцінки деградації ґрунту ФАО (Продовольча і сільськогосподарська організація ООН) і ЮНЕСКО в співробітництві з ЮНЕП почали роботу шляхом збору існуючих даних (з використанням даних дистанційного зондування); складаються карти деградації ґрунту, у першу чергу для зон в Африці к півночі від екватора. По картах здійснюється оцінка деградації ґрунту і небезпеки цієї деградації (ерозії, засолення і т.д.). Було показано, що 50% території Алжиру і 75% території Нігерії перебувають під загрозою ризику вітрової ерозії, тоді як майже всієї території Сьєрра-Леоне і 50% території Ліберії загрожує водяна ерозія. На отриманих картах можна точно визначити, які райони піддаються ризику, це допомагає дати рекомендації з планування землекористування.

Оцінку придатності земель для сільськогосподарських цілей у різних агроекологічних зонах і стану пасовищ у посушливих і напівпосушливих областях здійснює ФАО. Ця робота тісно зв'язана з проектом по вивченню настання пустель, тому що пасовища дуже чутливі до процесу опустелювання. У Сенегалу почалося здійснення великого проекту по дослідженню стану пасовищ.

Моніторинг покриву тропічного лісу здійснює ФАО разом із ЮНЕП у деяких африканських країнах; малося на увазі одержання даних по площах існуючого лісового покриву, його стану, кількісним і якісним змінам (у результаті антропогенних впливів – вирубки, обробки землі, порушення гідрологічного режиму і ін.), проведення районування і класифікація рослинності стосовно до інших районів земної кулі. Передбачається поширити цю роботу на весь тропічний пояс (із використанням супутникових даних).

Територія трьох країн (Того, Беніну і Камеруну), що складає близько 0,5 млн. км², була досліджена (у тому числі із супутників) і нанесена на карту. По отриманих знімках і інформації були визначені границі 15 екологічних зон.

Для продовження вивчення збитку тропічним лісам, що задається людиною, ГСМНС організований Проект оцінки глобальних ресурсів тропічних лісів, що охопив 26 країн; збиралася інформація про природні, вирубані, зведені і відновлювані ліси.

Визначено, що щорічно вирубується близько 80 тис. км² тропічних лісів, що приведе до їх зменшення до кінця сторіччя на 12%; однак ця вирубка виробляється нерівномірно – 9 країн через 25 років можуть позбавитися лісів

цілком, ще 11 країн – наполовину. Це може мати серйозні наслідки як на національному, так і на глобальному рівнях.

Моніторинг водних ресурсів здійснювався в рамках Міжнародного гідрологічного десятиліття (МГД) і продовжує здійснюватися в рамках Міжнародної гідрологічної програми (МГП) ЮНЕСКО. Проводилося вивчення водного балансу, дослідження гідрологічних регіонів. Роботи ведуться разом із ВМО (у рамках програм по оперативній гідрології). ЮНЕСКО разом із ЮНЕП здійснює складання глобального переліку льодовиків.

Моніторинг фоновому стану біосфери здійснюється під егідою програми ЮНЕСКО "Людина і біосфера" (МАБ). Більшість робіт проводиться по лінії тих проектів МАБ, у яких вивчається вплив людини на ресурси озер, рік, боліт, дельт і прибережної зони і вплив забруднень на біосферу. Дослідження з різних типів такого моніторингу проводяться в 35 країнах. До числа важливих із погляду моніторингу напрямків відносяться: евтрофікація водойм і зв'язаний з цим потік живильних речовин, цикл живильних речовин в екосистемах лісів і луків, ефект впливу використання земель на якість води, вплив атмосферних забруднень на земні і водні екосистеми.

Важлива діяльність в області моніторингу зв'язана зі створенням біосферних заповідників. До кінця минулого сторіччя на земній кулі нараховувалося 118 таких заповідників. Більшість біосферних заповідників створено на території, де можливо здійснювати моніторинг природних екосистем і забруднень на фоновому рівні. Починається спроба провести моніторинг стану, що змінюється, різних вимираючих видів.

З метою моніторингу живих морських ресурсів Міжнародна рада по вивченню моря збирає дані по уловах риби і займається оцінкою запасів риби в Північно-Східній Атлантиці, водах Арктичного басейну і Балтійського моря, що прилягають. Дані включають улови і запаси оселедця, тріски, пікші, сріблестого хека, палтуса, сайда, макрелі, лососів, глибоководної креветки, а також деяких моллюсків.

У другу велику групу результатів зібрані матеріали по моніторингу забруднень у тому числі по моніторингу, зв'язаному з питаннями охорони здоров'я, із кліматом, моніторингом океану, наземних екосистем). Цей напрямок охоплює 1-3 і 6 мети ГСМНС.

Під час обговорення рекомендованих мір дуже значне місце приділялося моніторингу можливих змін клімату (2 ціль) і причин, що можуть викликати такі зміни.

Тут серйозна увага повинна бути приділена моніторингу різних факторів, що впливають на клімат і кліматичну систему, моніторингу процесів, необхідних для розуміння можливих змін клімату. Важливим є моніторинг двоокису вуглецю, мутності атмосфери (для оцінки радіаційного балансу Землі), вивчення стану озоносфери, вимір змісту різних малих домішок в атмосфері, таких як фторхлорметани, закис азоту, що можуть углинути на озонний шар атмосфери. Використовується спеціально організована мережа станцій фоновому забрудненню ВМО. Організовано облік льодовиків світу (на 750 льодовикових станціях у 21 країні).

Серйозна увага в процесі обговорення цієї групи напрямків приділялася організації системи моніторингу стану наземних екосистем, оцінкам масового потоку антропогенних з'єднань, що впливають на різні біологічні системи. Тут передбачалася організація моніторингу різних компонентів атмосфери, океанів, наземних екосистем, моніторингу харчових ланцюжків і географічного переміщення продуктів харчування з метою оцінки масового потоку цих речовин; моніторингу біологічних систем із правильним вибором репрезентативних м'ясоїдних, що стоять на вершині трофічної піраміди, і птахів-космополітів, що краще інших можуть служити індикаторами для виявлення переміщення антропогенних забруднювачів у харчових ланцюжках.

Моніторинг стану здоров'я також служить цілям цієї групи, якщо особлива увага звертається на одержання даних про захворювання, причиною яких є зміна стану природного середовища (такі захворювання є чутливими індикаторами впливу навколишнього середовища на здоров'я).

Так, установлено, що рак окремих органів, деякі уроджені дефекти можуть бути наслідком впливу факторів навколишнього середовища.

Серцево-судинні і легеневі захворювання є чутливими індикаторами змісту хімічних речовин у вдихуваному повітрі.

За останні кілька років в усьому світі отримане значне число даних, зв'язаних із моніторингом забруднення атмосферного повітря.

Проводиться організація моніторингу забруднення повітря в містах більш ніж 50 країн і якості води на 300 станціях у 70 країнах. ВМО публікує дані "Якість повітря на обраних міських територіях". Почато здійснення проекту по виміру змісту забруднюючих речовин в організмі людини.

ВМО здійснює широку програму вимірів забруднень на мережі фонових станцій, що є частиною Всесвітньої служби погоди. Ця мережа складається з 176 станцій, із яких 75 передають дані про хімічний склад опадів; ЮНЕП здійснює підтримку цієї програми. Для включення в цю мережу готуються наступні типи станцій:

1) базові станції для глобального моніторингу дуже низьких фонових концентрацій найбільш важливих складових атмосфери;

2) регіональні станції для моніторингу довгоперіодних змін складу атмосферного повітря, викликаних регіональним впливом людської діяльності – практикою використання земель і ін.;

3) регіональні станції з розширеною програмою. Мінімальна програма моніторингу на базових станціях включає вимір мутності атмосфери, провідності повітря, вимір CO_2 у повітрі, хімію опадів, включаючи аналіз SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , Na^+ , важких металів, вимір рН. На регіональних станціях мінімальна програма включає спостереження за мутністю атмосфери і хімією опадів. Базові і регіональні станції з розширеними програмами мають додаткові виміри SO_2 , H_2S (чи загальної сірки), NO і NO_2 , MH_3 , складу часток, CO , CH_4 , N_2O (загальний зміст озону і його концентрація в поверхні землі), важких металів у повітрі, ядер Айткена.

В даний час уже функціонують близько 10 базових станцій і декілька знаходяться в стадії підготовки. На цих станціях передбачається проводити аналіз забруднень не тільки в атмосфері і в опадах, але і в інших середовищах (див. мал. 1.6, тема 1.5).

При здійсненні вимірів на всіх цих станціях велика увага приділяється використанню єдиних методів аналізу, інтеркалібруванню. Дані вимірів станцій регулярно публікуються.

Економічна комісія ООН для Європи (СЕК) організувала велику роботу з вимірів і оцінки далекого трансграничного переносу двоокису сірки в Європі. Організовано хімічний центр (методичний і для збору даних) у Норвегії, два метеорологічних центри – Західноєвропейський (в Осло) і Східноєвропейський (у Москві). Ця робота викликана тим, що забруднені повітряні маси, поширюючись на великі відстані, можуть впливати на великих територіях. Далекий перенос SO_2 являє собою небезпеку як для здоров'я людини, так і для стану наземних і водяних екосистем (через випадання кислих опадів, закислення поверхневих вод і ґрунтів). Моніторинг SO_2 здійснюється на 70 станціях. Проводиться розробка планів моніторингу залишкових пестицидів у біологічних системах.

ВОЗ разом з ЮНЕСКО, ВМО і ЮНЕП організує мережу контролю якості води з метою виявлення особливо небезпечних забруднювачів, переносу забруднювачів, контролю за евтрофікацією водойм. Цей аспект має відношення і до цілей ГСМНС (4 ціль).

Моніторинг продуктів харчування і корму для тварин, що організується ФАО, ВОЗ і ЮНЕП, має на меті визначення потоків різних забруднюючих речовин по цьому ланцюжку (включаючи перевезення продуктів харчування). Перший проект для десяти країн передбачає моніторинг хлорвмістних вуглеводнів у визначених молочних продуктах і свинцю в деяких овочах і рибних продуктах.

Вплив навколишнього середовища на здоров'я людини просліджується за допомогою моніторингу забруднювачів у рідині і тканинах людського тіла, грудному молоці, волоссі людини; моніторинг забруднювачів у "мішенях" проводять ВОЗ, ЮНЕП і МАГАТЕ (Міжнародне агентство по атомній енергії). Цей вид моніторингу включає вимір свинцю, кадмію, ртуті, хлорорганічних з'єднань (а також миш'яку і пестицидів) у мішенях.

Широке виявлення ефектів впливу на здоров'я людини проводиться ВОЗ за допомогою епідеміологічних досліджень.

Координація вимірів рівнів радіоактивності в навколишньому середовищі і радіаційних доз на біологічні об'єкти від всіх існуючих джерел (природна радіоактивність, радіоактивні випадання, промисловість, що використовує радіоактивні матеріали, медичні процедури), а також оцінка небезпеки соматичних і генетичних ефектів від таких випромінювань здійснюється з 1955 р. науковим комітетом із вивчення ефектів атомної радіації (НКАР) ООН. Цей Комітет регулярно представляє доповіді "Іонізуюча радіація: рівні і ефекти".

З 1961 р. МАГАТЕ в співробітництві з ВМО займається збором даних по змісту і розподілу тритію, дейтерію і кисню-18 в опадах. Протягом багатьох літ більш ніж на 100 метеорологічних станціях 65 країн проводять добори проб місячних опадів, що посилаються для аналізу в гідрологічну лабораторію МАГАТЕ у Відні. МАГАТЕ регулярно (один раз у два роки) публікує результати вимірів (уже опубліковано п'ять томів).

Зібраний дуже великий матеріал, зв'язаний з можливими змінами і коливаннями клімату. Тут велика робота проведена Всесвітньою службою погоди (ВСП) ВМО. У рамках ВСП проводиться широкий міжнародний обмін даними, отриманими на мережі кліматологічних станцій; у єдині центри збираються дані спостережень за сонячною радіацією, атмосферним озоном. Спеціальна програма спостережень створена у зв'язку з другою задачею – вивченням і моделюванням клімату – у рамках Програми досліджень глобальних атмосферних процесів (ПДГАП). Особливо активно ця програма реалізується при проведенні Міжнародного метеорологічного експерименту. Спостереження за складом атмосфери, низкою домішок в атмосфері, аерозольною складовою також входять у програму і здійснюються з метою розуміння можливих змін клімату. У цілому одержання даних, зв'язаних із кліматом, організується ВМО за підтримкою ЮНЕП. Дуже важливі багато з цих даних для використання в прикладних цілях при оптимальній організації і веденні господарства, будівництва, освоєнні природних багатств.

Дуже серйозним напрямком моніторингу, у якому міжнародна діяльність і система ГСМНС уже зіграли свою роль, є моніторинг забруднень океану. Тут особливе значення має міжнародне співробітництво з метою одержання інформації про рівні і тенденції забруднень морів і океанів у регіональному і глобальному масштабах, забруднень, що становлять потенційну небезпеку для здоров'я людини, мають шкідливий вплив на морські екосистеми і впливають на енерго- і масообмін між океаном і атмосферою.

Передбачалося, що вибірковий моніторинг декількох особливо важливих і репрезентативних речовин у відкритому океані і у прибережних районах буде достатнім для відповіді на багато питань про стан океанів і морських екосистем. Вважалося, що для цього буде потрібно 8-12 станцій, на яких будуть вимірюватися забруднення води нафтою, концентрація плутонію, америцію, нітратів, фосфатів, фторхлорметанів, первинна продуктивність, карбонатна рівновага.

Рекомендувалася програма спостережень за деякими морськими організмами, такими, як двостулкові моллюски (що забезпечують "інтегрування" забруднень у часі). Такі спостереження повинні були включати також вимір змісту важких металів. До цього ж виду моніторингу рекомендовано віднести вимір забруднень на морських гідрологічних станціях.

Моніторинг відкритих вод океану здійснюється на базі Об'єднаної глобальної системи океанічного обслуговування (ОГСОО), що існує вже багато років.

Метою ОГСОО, організованою спільно Міжнародною океанографічною комісією (МОК) і ВМО, є одержання інформації про стан океанів, про різні

процеси в океані і його взаємодії з атмосферою. У рамках глобальної системи океанічних станцій ведеться спостереження за різними фізичними параметрами атмосфери і верхнього шару океану, дані передаються по всій земній кулі в реальному масштабі часу. Основою системи є 7,5 тис. торгових судів і біля десяти судів погоди, що проводять спостереження в рамках ВСП ВМО (у визначених районах Світового океану).

ОГССО разом із ЮНЕП почали здійснення проекту моніторингу забруднення моря нафтопродуктами у різних точках Світового океану (у дослідженні беруть участь 40 країн).

Для моніторингу океану цікавою є робота зі складання глобального списку рік, що дають скиди забруднюючих і суспендированих речовин в океан, почата ЮНЕСКО разом із ЮНЕП. Інформація збирається з 270 великих рік.

Найважливішими для моніторингу морів і океанів є плани дій, розроблювальні і здійснювані ЮНЕП для регіональних морських районів і регіональних морів (Середземне море, Червоне море, Карибське море).

ЮНЕП здійснює координацію моніторингу в Середземному морі, проведеного 16 країнами. Програма цих робіт охоплює моніторинг нафти і нафтових вуглеводнів у морській воді, важких металів (особливо ртуті і кадмію), ДДТ, ПХБ і інших хлорвмістних вуглеводнів у морських організмах; вивчення ефектів впливу забруднюючих речовин на морські організми і екосистеми, вивчення прибережного переносу забруднюючих речовин і контроль за прибережними водами. У роботах беруть участь середземноморські країни. Сюди ж відноситься дослідження забруднень моря від континентальних джерел, метою якого є надання державам, розташованим по берегах Середземного моря, інформації щодо типу і кількості надходження забруднень від наземних джерел і рік, про характеристики скидання і про практику контролю забруднень води. У першій фазі була здійснена інвентаризація джерел забруднення, зараз здійснюється збір фактичних даних по скиданнях, після чого буде здійснена оцінка всієї зібраної інформації.

Біля десяти років широкі дослідження забруднень проводяться в Північному морі (МОК разом з іншими організаціями). Ці дослідження включають вивчення фізичних, хімічних і біологічних перетворень забруднювачів, що включають нафту, хлорвмістні вуглеводні, метали (особливо ртуть, мідь, цинк). Досліджуються джерела забруднень, зв'язані з промисловими скиданнями, скиданнями комунального господарства (включаючи скидання сміття), і атмосферні випадання. Здійснюється також вивчення забруднень морських організмів (риби, молюсків).

Дослідження в Балтійському морі аналогічні дослідженням у Північному морі; у них беруть участь сім країн.

Розширені дослідження включені в широкомасштабний міждисциплінарний експеримент у відкритому морі BOSEX-77, у якому беруть участь учені всіх балтійських країн. Експеримент забезпечить достатні знання для моніторингу і контрольних вимірів, необхідних у рамках Хельсінкської конвенції по контролю забруднень Балтійського моря.

Дуже широкі дослідження проводяться в північно-східній і північно-західній частинах Атлантики. Вони стосуються рівнів забруднення в живих ресурсах моря і надходження забруднювачів в океан. У роботах беруть участь усі країни, що примикають до північної частини Атлантичного океану.

Попередження про стихійні лиха (цей напрямок віднесений до третьої групи) – одна з цілей ГСМНС (7 цілей), однак здійснювалося вже тривалий час і здійснюється дотепер спеціалізованими організаціями (і національними службами). Для створення системи попередження необхідна організація системи прогнозу і попередження про природні лиха, збір і обробка даних у реальному масштабі часу. Задачею є модифікація і розвиток існуючих систем там, де система моніторингу не відповідає цим цілям (або її немає).

В даний час оперативні системи мають для тропічних циклонів (ВМО) і цунамі. Ведеться також реєстрація землетрусів, повеней, вулканічних вивержень, сніжних лавин.

Дослідження в області обґрунтування і розвитку моніторингу фоновому стану навколишнього середовища ведуться в багатьох міжнародних організаціях і країнах.

Передбачається аналіз шляхів і процесів трансформації забруднень, вивчення ефектів впливу забруднень на біоту, виявлення індикаторів стану навколишнього середовища і критичних елементів біосфери, найбільш підданому впливу. У сполученні з пошуком найбільш небезпечних із погляду впливу на екосистему забруднювачів цей підхід є частиною наукового обґрунтування екологічного моніторингу. Станції спостережень для зазначених досліджень розташовуються в біосферних заповідниках або на базових станціях.

У Челсі-коледжі в Лондоні був створений Центр по вивченню різних аспектів моніторингу навколишнього середовища. Діяльність центра має чотири основних напрямки:

- 1) вивчення вимог до моніторингу і оцінки;
- 2) вивчення значення і можливостей регіонального моніторингу;
- 3) обґрунтування моніторингу через динаміку процесів навколишнього середовища (наприклад, із використанням концепції "очікуваної" дози);
- 4) дослідження можливих майбутніх змін навколишнього середовища.

Найбільш важливою областю досліджень у зв'язку із задачами ГСМНС є третя задача. Проблема взаємозв'язку між забруднювачами в різних середовищах і шляхами проникнення їх з одного середовища в інше вивчається за допомогою моделювання. Оскільки багато які із забруднювачів, такі, як важкі метали, зустрічаються в природних геохімічних циклах, а також з'являються в результаті діяльності людини, важливо установити природну мінливість фонових рівнів забруднення цими забруднюючими речовинами незалежно від діяльності людини. Для цієї мети проводиться аналіз даних, що збираються протягом багатьох літ, до початку істотних антропогенних змін.

Пізніше Центр почав вивчення проблеми виміру різних перемінних у різних середовищах (наприклад, у повітрі, воді, біоті) на тих же станціях моніторингу (багатоцільовий моніторинг з інтегрованим підходом).

Тема 4.2. Аналіз існуючої обстановки в Україні і в різних країнах

Для організації і оптимального розвитку системи контролю за рівнем забруднення природних середовищ необхідний детальний аналіз існуючого стану забруднення природних середовищ у даній країні і інших країнах; аналіз повинний включати знання гідрометеорологічних і фізико-географічних особливостей у розглянутому районі. Необхідно вивчити властивості даного інгредієнта – його мобільність, здатність до перетворень, проникнення в інші середовища. Необхідно враховувати токсичність інгредієнтів і чисельність населення, кількість живих організмів, що піддаються опроміненню чи іншому впливу з даного джерела, схильність різних конструкцій впливу і т.д. Таким чином, організація науково-обґрунтованої системи контролю (включаючи вибір пріоритетних забруднювачів і місць розташування пунктів контролю) повинна спиратися на всебічний аналіз навколишнього природного середовища і бути спрямована на виконання задач регулювання якості природного середовища з обліком максимально можливого розвитку промисловості і всього народного господарства.

При організації мережі спостережень за рівнем забруднення повітря в містах (і особливо мережі контролю джерел забруднення) необхідно мати на увазі, що деякі низько розташовані (автотранспорт) і навіть дрібні (грубні труби житлових будинків) джерела можуть уплинути на локальний рівень забруднення більш істотно, чим високо розташовані джерела (викид із високих труб). При цьому потрібно враховувати не тільки загальний викид і концентрацію в приземному шарі атмосфери, але і кількість жителів, кількість біологічних об'єктів, підданих впливу.

Аналіз показав, що основна частка забруднень у містах (до 85%) приходить на двоокис сірки, пил, окис вуглецю і окисли азоту. Інша кількість приходить на частку специфічних речовин, що, як правило, зв'язані з роботою підприємств визначених галузей промисловості і присутні в порівняно невеликому числі пунктів, де розташовані ці підприємства. До таких речовин відносяться сірководень, хлор, сірковуглець, аміак, з'єднання фтору, вуглеводень.

Забруднення повітря міст двоокисом сірки в багатьох країнах (у середньому) близько до гранично припустимих значень, а в окремі періоди перевищує ці значення. Так, з 247 контрольованих районів у США в 101 районі були відзначені концентрації SO_2 , що перевищують чи близькі до величин встановлених стандартів. Нижче (табл. 4.1) приводяться значення максимальних разових концентрацій SO_2 у містах США, Японії, України і ФРН наприкінці минулого сторіччя. Істотні рівні забруднень в атмосферному повітрі міст багатьох країн відзначаються по окислах азоту, пилу, окису вуглецю.

Таблиця 4.1

Країна	Середня річна концентрація mg/m^3
США	0,12-0,29
Японія	0,08-0,22

Країна	Середня річна концентрація mg/m^3
ФРН	0,04-0,16
Україна	0,1-0,2

У промислових містах України зміст окислів азоту складає 0,02-0,04 mg/m^3 (ГДК=0,085 mg/m^3), зміст CO у великих містах – 1-3 mg/m^3 (ГДК=3 mg/m^3), у години пік за рахунок автотранспорту місцями досягає 5-9 mg/m^3 .

Серйозною проблемою є проблема забруднення повітря великих міст бенз(а)пиреном (через викиди автотранспорту) – у деяких містах Західної Європи максимальні концентрації досягли 0,4-0,7 mg/m^3 . Концентрації у містах СНД значно нижче. Так концентрації бенз(а)пирена в повітрі Санкт-Петербурга у середньому в 7-10 разів нижче, ніж у великих промислових містах Англії чи США.

Особливе місце займають важкі метали, викиди яких здійснюються не тільки при роботі металургійних заводів, але і при спалюванні органічного палива при роботі теплових електростанцій.

Концентрації свинцю в повітрі багатьох міст за рахунок вихлопів автотранспорту, що використовує етилований бензин, досягають значних величин. Так, середня річна концентрація свинцю в повітрі, у містах США доходила до 4,5 mg/m^3 (у сільських районах складала 0,1-0,5 mg/m^3).

При організації мережі контролю за рівнем забруднення атмосферного повітря враховувалася поширеність викидів тих чи інших речовин, їхня загальна кількість (внесок у загальний викид), а також токсичність інгредієнтів, що викидаються. Аналіз показав, що основними забруднюючими речовинами в містах є двоокис сірки, пил, окис вуглецю і окисли азоту (до 86%). Відповідно цьому 23% усіх вимірів приходить на двоокис сірки і двоокис азоту, 18% – на окис вуглецю, 11% – на пил і 7% – на фенол.

Основним джерелом забруднень рік і озер є стічні води різних промислових підприємств, стоки комунального господарства міст, сільськогосподарські стоки (із полів, тваринницьких ферм).

У воді рік, озер і водоймищ спостерігаються нафтопродукти, феноли, залізо, мідь, цинк, важкі метали і багато інших шкідливих речовин. Улучення у воду рік і озер органічних речовин веде до зниження змісту розчиненого кисню.

Картина забруднення водойм істотно залежить не тільки від розподілу і величин скидань забруднень, але і від гідрологічних і льодових умов, що міняються від року до року і від району до району.

Так само як і у випадку з аналізами проб повітря, аналіз проб води в минулі роки розподілявся відповідно до поширеності і значимості (токсичності) даного інгредієнта. Так, найбільше число хімічних аналізів було зв'язано з визначенням концентрацій у водоймах країни (на ріках і озерах) нафтопродуктів, фенолів, амонію, нітратів, заліза (по 15- 20 тис. аналізів у рік); така ж кількість визначень була проведена для виявлення кількості розчиненого кисню і БПК₅.

Як було відзначено, у воді рік і донних відкладеннях виявляються важкі метали. Особливу небезпеку представляє ртуть, її велика частина знаходиться у високотоксичній метилованій формі. Коефіцієнт нагромадження ртуті в гідробіонтах досягає 105 і більш. Зміст ртуті в деяких водоймах США досягає гранично допустимого рівня, а в декількох озерах Швеції перевищує допустимі значення.

Серйозною проблемою є забруднення водойм хлорорганічними пестицидами (ДДТ і ін.). Ці речовини мають здатність накопичуватися в кінцевих ланках харчових ланцюгів (на більш високих трофічних рівнях). Коефіцієнт нагромадження в харчовому ланцюжку для пестицидів досягає значень $5 \cdot 10^5$ (при адсорбції з води пестицидів детритом, концентруванні в тканинах детритофагів і дрібної риби, а далі в рибоїстних птахів). У табл. 4.2 дані середні значення ДДТ і інших хлорорганічних пестицидів у воді і гідробіонтах, характерні для дійсного часу.

Таблиця 4.2 – Середній зміст пестицидів у воді і гідробіонтах

Вода, гідробіонти	Зміст ДДТ і інших пестицидів, млн ⁻¹
Вода	$0,5-1,0 \cdot 10^{-4}$
Планктон	0,01-0,04
Водяні безхребетні	0,1-0,9
Прісноводні риби	1-2
Птахи, що харчуються прісноводною рибою	22-26

Ще великих значень досягають коефіцієнти нагромадження для поліхлорбіфенілів (ПХБ), що активно сорбуються донними відкладеннями, включаються в біологічний кругообіг. Коефіцієнт нагромадження для ПХБ у водних безхребетних і риб досягає $7 \cdot 10^4$, а для хижих птахів 10^8-10^9 . Коефіцієнти, що відповідають полібромованим біфенілам (ПББ) складають 10^4 .

Проблема евтрофікації водойм стала повсюдною. Це зв'язано з значній мірі з виносом у водойми великої кількості біогенних речовин за рахунок надходжень цих речовин із комунальними стоками і змиву в поверхневі води великої кількості добрив, внесених на сільськогосподарські поля. При цьому відбувається швидке перетворення внесених продуктів у нітрати (у результаті бактеріальної діяльності), що при влученні у водойми самі по собі являють загрозу для населення і ведуть до прискореної евтрофікації (процеси евтрофікації починають розвиватися вже при концентрації нітратного азоту 0,3 мг/л). Якщо врахувати, що допустима в США норма для нітратів у питній воді 10 мг/л нерідко перевищується, стає очевидною гострота даної проблеми (середня концентрація нітратів у поверхневих водах США складає близько 2 мг/л).

Забруднення рік можуть спостерігатися майже по всій їхній довжині (у районах інтенсивного промислового розвитку). Так, у США 24% усіх рік відноситься до рік із забрудненням більш ніж на половині всього протягу, у

48% рік довжина забруднення складає 20-50%. Однак найбільш піддані забрудненню устя рік і естуарії. Прикладом є р. Потомак у США. Аналогічне положення спостерігається і у Великобританії, де понад 70 % естуарій містять воду сумнівної чи поганої якості.

Такі райони вимагають найбільш ретельного контролю не тільки за хімічними показниками, але і по гідробіологічним.

Поряд із масовим контролем забруднень рік, озер і водоймищ потрібна постановка спостережень за "фоновим" забрудненням поверхневих вод у місцях, вилучених від дії локальних джерел забруднення. Тут серйозна увага повинна бути приділена контролю забруднення за рахунок атмосферного переносу із сусідніх районів. Саме цей шлях забруднень може бути основним для таких водних об'єктів.

Проблема закислення поверхневих вод шляхом вимивання опадами двоокису сірки і продуктів її перетворення стала актуальною для багатьох водойм Європи. При цьому нерідко такий ефект спостерігається на дуже значних видаленнях від джерел викиду SO_2 .

Розвитку системи спостережень за фоновим забрудненням атмосфери і інших середовищ в останні роки приділялася особлива увага. Великий внесок у цю роботу зроблений Всесвітньою метеорологічною організацією, що реалізує спеціальну глобальну систему станцій фонового моніторингу забруднення атмосфери.

Національна система фонового моніторингу в Україні передбачає дослідження і спостереження за складом, кругообігом і міграцією забруднюючих речовин; відповідною реакцією біоти на вплив – фонового забруднення природного середовища; включає оцінку стану екологічних систем, що спостерігаються, а також прогноз змін цього стану.

Оптимальним є розміщення станцій комплексного фонового моніторингу в біосферних заповідниках і в інших заповідних територіях.

Стандартна програма спостережень для станцій комплексного фонового моніторингу охоплює всі природні середовища (атмосфера, ґрунт, вода) і їхні біологічні компоненти.

До пріоритетних забруднюючих речовин відноситься озон, пил, з'єднання азоту і сірки, свинець, ртуть, миш'як, кадмій, поліциклічні ароматичні вуглеводні і хлорорганічні пестициди. Ці речовини змінюються систематично.

Фонові середні годинні значення концентрацій озону змінюються від 4 до 160 мкг/м³, за винятком деяких районів США, де зареєстроване значення до 240 мкг/м³; середні добові концентрації озону для різних фонових районів земної кулі коливаються в межах 84-115 мкг/м³, в Україні 30-80 мкг/м³.

Середні концентрації зважених часток в Україні складають 30 мкг/м³, регіональний фон у Західній Європі – 50 мкг/м³. У вилучених районах, а саме у високогір'ях, над морями і океанами зміст пилу складає 6-12 мкг/м³.

Фоновий зміст двоокису азоту (середні добові концентрації) характеризується значеннями 0,1-12 мкг/м³, при цьому над поверхнею океанів у більшості випадків концентрації нижче, ніж над континентальними районами. Цей факт може бути обумовлений як більшою інтенсивністю мікробіологічних

процесів на земній поверхні в континентальних областях, так і можливим впливом урбанізованих районів.

Зміст двоокису сірки в непромислових районах земної кулі змінюється в широких межах: від 0,05 до 14 мкг/м³. Найменші концентрації двоокису сірки (0,04-4 мкг/м³) зареєстровані над поверхнею океанів, в Антарктиді і у біосферних заповідниках і гірських районах. Фонові концентрації двоокису сірки вище 4 мкг/м³ характерні для Західної Європи і Америки.

Діапазон зміни концентрацій сульфатів у повітрі фонових районів знаходиться, як правило, у межах 0,5-10 мкг/м³. Підвищений зміст сульфатів у повітрі характерний для Європейського регіону (від 5 до 15 мкг/м³).

Найбільш високі фонові концентрації свинцю (більш 100 нг/м³) характерні для рівнинних районів Західної Європи. У фонових районах України концентрація свинцю в повітрі складає 2-40 нг/м³. У гірських районах це значення помітне нижче і на висоті більш 3000 м над рівнем моря дорівнює 2-6 нг/м³ у Західній Європі і 4,6-21 нг/м³ у Північній Америці.

Концентрація газоподібної ртуті у фонових районах коливається від одиниць до 50 нг/м³. В Україні фонові концентрації газоподібної ртуті складають 5-15 нг/м³.

Зміст кадмію в атмосфері фонових районів низький і приблизно однаковий: 0,02-1,6 нг/м³. Найбільш високі концентрації (1,6 нг/м³) кадмію зареєстровані в Західній Європі.

Концентрація миш'яку для різних фонових районів земної кулі змінюється в межах 0,2-3 нг/м³. Миш'як, як і кадмій, розподілений досить рівномірно.

У повітрі неурбанізованих районів концентрації 3,4-бензпирена складають 0,1-0,5 нг/м³ і менш. У національних парках і заповідниках США концентрації 2,4-бензпирена знаходяться в межах 0,01-1,9 нг/м³, найнижчі його концентрації (у середньому 0,01 нг/м³) спостерігаються над океаном. В Україні зміст 2,4-бензпирена в повітрі різних фонових районів лежить у межах 0,06-0,8 нг/м³.

Глобальні рівні концентрації хлорорганічних пестицидів у повітряному басейні змінюються в широких межах – від 0,001 до одиниць нг/м³. Найбільш низькі фонові концентрації ДДТ і ГХЦГ характерні для атмосфери над океаном; над континентом глобальний рівень складає 0,5-1 нг/м³. В Україні рівень фонових концентрацій – 0,05-1 нг/м³.

Статистичний аналіз результатів спостережень на модальність розподілу домішок на гістограмах, тобто виявлені два логнормальні закони розподілу, породжені двома групами факторів. У результаті аналізу впливу погодних умов у період спостережень виявлений зв'язок щодо високих рівнів концентрації забруднюючих речовин з негативною енергією нестійкості атмосфери, а низькі рівні забруднень групувалися з днями з позитивною енергією нестійкості атмосфери. Саме ці останні дані варто розглядати як найбільш представницькі для оцінки регіонального фонових рівня забруднюючих речовин в атмосфері.

Зміст свинцю в ґрунтах фонових районів різних країн змінюється від 1,1 до 71 мг/кг, при цьому середній сучасний глобальний рівень оцінюється в

17 мг/кг, що помітно вище кларкового змісту (10 мг/кг). Фонові концентрації кадмію в основних типах ґрунтів лежать у межах 0,01-1,4 мг/кг, ртуті – 0,01-0,8 мг/кг. Концентрації 3,4-бензпирена в ґрунтах фонових районів рідко перевищують 20 мкг/кг. В Україні зміст 3,4-бензпирена в ґрунтах фонових районів складає 0,1-4,8 мкг/кг.

Основна частина пестицидів (90-95%) зосереджена у верхньому (10 см) шарі ґрунту. Рівень концентрацій ДДТ поза сільськогосподарськими зонами США складає 0,01-0,6 мг на 1 кг сухої маси, у Канаді – 0,09-0,5 мг, в Україні – 0,004-0,4 мг. Утримування ГХЦГ у ґрунті приблизно в 5-10 разів нижче.

Концентрація 3,4-бензпирена у водоймах, що знаходяться далеко від джерел забруднення канцерогенними поліциклічними ароматичними вуглеводнями, як правило, не перевищує 0,1 нг/л. У цілому в Європі і США концентрації більш високі (0,3-100 нг/л), в Україні – 0,1-4 нг/л.

Глобальний фоновий зміст ДДТ і ГХЦГ у поверхневих водах лежить у межах 0,01-0,1 мкг/л, при цьому більш високий рівень концентрацій (до 0,6-1,2 мкг/л) характерний для країн Західної Європи, в Україні фоновий рівень складає 0,02-0,2 мкг/л.

Трав'янисті рослини характеризуються низьким і досить однорідним змістом металів. Зміст свинцю в них складає 1-5 мг/кг. У листах деревних рослин зміст елементів трохи вище: свинцю міститься 0,5-10 мг/кг; кадмію – 0,05-0,3 мг/кг; ртуті – 0,01-0,12 мг/кг. Фоновий зміст 3,4-бензпирена в рослинності коливається від 0,1 до 50 нг на 1 м сухої рослинної маси в залежності від виду рослинності.

У цілому фонове забруднення таких великих регіонів, як Північна Америка і Західна і Центральна Європа, практично за всіма показниками помітно вище, ніж фонових районів Євразійського континенту і значно вище фонових забруднення полярних зон і океанів.

Тема 4.3. Система контролю стану і забруднення природного середовища в Україні і в різних країнах

Загальний контроль (спостереження, оцінка, прогноз, елементи регулювання) стану природного середовища в Україні здійснюється, головним чином, різними геофізичними службами, велика частина яких перебуває у веденні Державного комітету з гідрометеорології.

Такі служби збирають і переробляють інформацію про природний стан природного середовища, зміні цього стану за рахунок природних і антропогенних причин, вивчають закономірності цих змін, прогнозують зміни стану в майбутньому і надають інформацію всім зацікавленим організаціям для обов'язкового використання в інтересах здоров'я і добробуту людини, в інтересах збереження природи і розвитку народного господарства країни. До такого роду служб варто віднести: метеорологічну, гідрологічну, службу спостереження за станом морів і океанів (перераховані служби поставляють також основну інформацію для служби даних, що мають відношення до клімату), агрометеорологічну, службу попередження цунамій, службу спостереження і контролю за радіаційною обстановкою в космічному просторі,

службу спостереження і контролю за рівнем забруднення природних середовищ, а також службу космічного спостереження за природними ресурсами, що поновлюються. Забезпечення робіт перерахованих служб є компетенцією Госкомгідромету.

Якщо говорити про антропогенні зміни стану природного середовища, то найбільш гострий вплив на людину і природне середовище можливо за рахунок забруднень, антропогенний викид яких зараз досяг значних розмірів.

В Україні організована і успішно функціонує служба спостереження і контролю за забрудненням об'єктів природного середовища Мінприроди.

В основу цієї служби, що є власне кажучи національною системою моніторингу забруднення природних середовищ, був покладений досвід, накопичений раніше гідрометеорологічною службою СРСР, а також результати аналізу існуючої інформації про забруднення природних середовищ; наукове обґрунтування зазначеної системи ґрунтується на результатах усебічного аналізу стану природного середовища в цілому, що дозволили визначити оптимальний характер служби, що організується.

Отже, при організації даної служби максимально використовувалися:

- досвід гідрометеорологічної служби при організації репрезентативної мережі гідрометеорологічних спостережень, збору і обробки даних;
- досвід експедиційних досліджень у системі гідрометслужби (регулярні спостереження за фоновим хімічним складом поверхневих вод почалися ще в 20-х роках);
- існуюча оперативна мережа гідрометеорологічних станцій по всій території країни.

Для раціонального розміщення пунктів служби, визначення пріоритетних забруднювачів приймалися до уваги:

- зведення загального характеру про існуючі і можливі джерела забруднення (великі міста, індустріальні райони, устя рік, на яких розташовані промислові підприємства, великі тваринницькі ферми, окремі підприємства в зоні унікальних природних об'єктів і ін.);
- результати минулих спостережень рівнів забруднення (здебільшого експедиційних), що носять орієнтований характер;
- дані про рівні забруднення природних середовищ в інших країнах, великих містах (це давало можливість орієнтуватися на найбільш серйозні проблеми забруднень).

Використання мережі гідрометеорологічних спостережень при організації служби дало можливість забезпечити комплексність спостережень, при якій одночасно зі спостереженнями за рівнем забруднення природних середовищ передбачається проведення гідрометеорологічних і біологічних спостережень. Цим забезпечується інтегрований підхід до моніторингу забруднень природних середовищ – найбільш широкий, ефективний і одночасно самий економічний. Такий підхід створює базу для переростання служби спостережень і контролю за забрудненням об'єктів природного середовища в екологічну службу, призначену для збору інформації, оцінки і прогнозу стану біосфери в самому широкому значенні слова. Наукове обґрунтування такої системи повинне

будуватися на основі всебічного аналізу навколишнього природного середовища. Це допоможе визначити і найбільш піддані впливу елементи біосфери, що вимагають особливої уваги.

Побудова екологічної служби полегшується тим, що в рамках існуючої служби вже проводяться спостереження і оцінка стану середовища за біологічними показниками (для водяних об'єктів), а Госкомгідрометом організується служба спостережень і збору даних із супутників про природні ресурси, що поновлюються.

Служба представляє інформацію про природний (фоновий) стан природного середовища, про антропогенні зміни в сьогоденні і майбутньому на різних рівнях впливу (високому – імпактному, проміжному і низькому – фоновому).

Прикладом комплексного, інтегрованого підходу до організації моніторингу природного середовища на фоновому рівні є організація досліджень і спостережень по комплексній програмі на базі біосферних заповідників. Ці елементи вже є осередками майбутньої екологічної служби контролю стану природного середовища.

Розвиток описуваної служби контролю забруднень в екологічну повинний передбачати також виявлення і контроль джерел різноманітних впливів, у першу чергу, моніторинг джерел забруднень. Екологічне і санітарно-гігієнічне нормування з обліком технологічних і економічних можливостей народного господарства повинне з'явитися основою обмеження таких джерел і регулювання якості природного середовища.

Служба спостереження і контролю за забрудненням об'єктів природного середовища (як у майбутньому і екологічна служба) будується по ієрархічному принципі (первинний пункт контролю забруднень чи іншого стану середовища – територіальний центр – регіональний чи головний центр збору інформації) з використанням вже існуючих і автоматизованих систем збору, що розвиваються, передачі і обробки даних, залученням новітньої техніки (ядерно-фізичні і біологічні методи, дистанційні методи, включаючи супутникові).

Описана служба в першу чергу представляє дані про стан середовища, необхідні безпосередньо для забезпечення здоров'я людини. У цьому плані служба повинна тісно сполучатися з відповідними службами Міністерства охорони здоров'я.

Зазначену службу можна розділити на три великих блоки (підсистеми).

1. Підсистема контролю забруднень у зонах можливого істотного антропогенного впливу (зони інтенсивного впливу). З погляду контролю забруднення атмосфери сюди відносяться зони міст, промислові райони. З погляду контролю забруднення поверхневих вод – устя рік і естуарії, ділянки великих рік і малі ріки, а також озера і водоймища в промислових районах, особливо місця скидання стічних вод, райони тваринницьких ферм, міст (з урахуванням комунальних стоків). З погляду контролю забруднення морських вод – прибережні зони в промислових районах, районах великих міст, особливо портових, райони морського нафтопромислу. З погляду контролю забруднення

грунтів – райони, великих міст, автомагістралей і великих доріг, сільськогосподарських угідь з інтенсивним застосуванням отрутохімікатів.

2. Підсистема контролю забруднень на регіональному рівні – зона повсюдного контролю проміжних рівнів забруднення – в атмосфері невеликих міст, районів, що примикають до зон інтенсивної роботи промисловості; виміри забруднень у великому числі місць на ріках, озерах і морях, у ґрунтах господарського освоєння. Такі виміри повинні бути повсюдними, але можуть бути не дуже частими (у просторі і в часі). Для речовин, що мають відносно рівномірний розподіл, можливе обстеження (зйомки) експедиційного характеру (наприклад, зйомка фонових глобальних радіоактивних випадань). Сюди може бути віднесений і моніторинг поширення домішок на великі відстані (наприклад, при трансграничному переносі).

3. Підсистема контролю забруднень на фоновому рівні. Сюди відносяться спостереження в зонах, вилучених від будь-яких локальних джерел. Як приклад можна вказати на комплекс вимірів і досліджень на базі біосферних заповідників. До цієї підсистеми відноситься контроль стану природного середовища, рівня забруднення в унікальних, заповідних природних об'єктах.

Розглянемо трохи докладніше питання реалізації системи контролю стану і забруднення природного середовища в нашій країні по цим трьом основним підсистемам.

Контроль забруднень у зонах можливого інтенсивного впливу включає контроль забруднення атмосферного повітря, вод суші і морів, забруднення ґрунтів.

Контроль забруднення атмосферного повітря в містах і промислових районах здійснювався на стаціонарній мережі пунктів спостережень у містах країни.

Система контролю забезпечує оперативну можливість одержання і передачі даних про різкі зміни рівнів забруднення через аварійні ситуації чи несприятливі метеорологічні умови.

В усіх містах виміряється зміст у повітрі пилу, сірчистого газу, сажі, окису вуглецю, двоокису азоту.

У містах, де працюють відповідні підприємства, виміряється зміст аміаку, сірчаної кислоти, сірководню, сірковуглецю, хлору, метилмеркаптану, фенолу, важких металів, фтористого водню. У деяких містах проводяться визначення вуглеводнів і озону (це важливо для виявлення смогових ситуацій).

Спостереження і контроль за рівнем забруднення поверхневих вод здійснюється по фізичних, хімічних і гідробіологічних показниках. Спостережні пункти сполучаються з гідрологічними постами і ділянками, забезпеченими гідрологічними розрахунками. У районі скидання стічних вод організується два (чи декілька) створи спостережень – один із них вище джерела забруднень, інший – нижче.

До вимірюваних інгредієнтів і показників відносяться: мінералізація, зважені речовини, величина рН, розчинений кисень, БПК₅, ХПК, основні іони, біогенні речовини, нафтопродукти, детергенти, феноли, пестициди, важкі

метали, деякі специфічні інгредієнти, визначаються також температура і кольоровість води.

Усі пункти спостережень за рівнем забруднення вод суші поділяються на чотири категорії – по частоті і детальності програм спостережень. Пункти першої категорії розташовані в місцях скидання стічних вод і нерестовищ і зимовищ коштлових риб; пункти другої категорії – у районі промислових міст, усть рік і інших зонах, підданих істотному впливу.

Ці дві категорії пунктів відносяться до групи контролю в зонах інтенсивного антропогенного впливу.

На пунктах першої категорії спостереження проводяться один раз у кілька днів по великій програмі, на пунктах другої категорії – один раз на місяць по тій же програмі.

Важливим є впровадження в системі контролю за рівнем забруднення води гідробіологічних методів – результати аналізів указують безпосередньо на стан екосистеми водойми; ці спостереження, таким чином, уже є складовою частиною екологічної служби.

Основу гідробіологічного контролю складають спостереження за такими елементами водяних екосистем, як зообентос, зоопланктон, фітопланктон, макрофіти. Так, визначається чисельність бентосних організмів, загальна кількість їхніх видів, кількість видів в основних групах. При контролі зоо- і фітопланктону визначається їхня біомаса, кількість фіто- і зоопланктерів.

Гідробіологічний контроль стану макрофітів – вищої водної рослинності – включає спостереження за видовим складом, фітомасою, аномаліями розвитку. Навіть при візуальній оцінці стану повітряно-водяних макрофітів можна зробити висновок про ступінь забруднення водойми. Детальна оцінка якості води у випадку гідробіологічних спостережень проводиться по сукупності гідробіологічних показників – по індексах сапробності, розмаїтості, токсичності і ін.

При моніторингу забруднення морів особлива увага приділяється організації вимірів у прибережній зоні, у курортно-оздоровчих і рибогосподарських зонах і в районах інтенсивного впливу.

При морських спостереженнях виробляються синхронні виміри на різних глибинах, включаючи придонний шар і шар стрибка.

Станції вимірів забруднень на море поділяються на три категорії.

Станції категорії I і II відносяться до зон підвищеного забруднення, категорії III – до фонових районів. На станціях категорії I виміри робляться один раз у 10-30 днів, категорії II – один раз на місяць. Скорочена програма (один раз у 10 днів) включає вимір розчиненого кисню, нафтопродуктів і 1-2 специфічних інгредієнтів. Повна програма (один раз у 30 днів) включає вимір нафтопродуктів, хлорорганічних пестицидів, важких металів, фенолів, детергентів, специфічних інгредієнтів, а також основних показників середовища і елементів гідрометеорологічного режиму. Моніторинг забруднення ґрунтів у сільськогосподарських районах включає вимір залишкової кількості ДДТ і його метаболітів, гексахлорциклогексану, гранозолу, метафосу і інших пестицидів, важких металів, поліциклічних

вуглеводнів, а також спостережень за показниками якості ґрунтів. У ґрунтах поблизу промислових енергетичних об'єктів і доріг визначаються різні метали, бенз(а)пирен, поліхлорбіфеніли (ПХБ). В усіх зонах проводяться виміри змісту перерахованих забруднювачів у ґрунті, а також проводяться виміри потоку зазначених речовин з атмосфери (для цього приводиться добір проб місячних випадань і проб снігу наприкінці зими).

Підсистема контролю забруднень на регіональному рівні відрізняється від описаної (для зон інтенсивного впливу) більш широкою мережею спостережень (для поверхневих і морських вод); однак виміри на цій мережі проводяться більш рідко і по менш великій програмі. Так, для контролю забруднень вод суші на цьому рівні введені станції категорії III (шомісячні спостереження по скороченій програмі і виміри по повній програмі, сполучені з основними гідрологічними фазами).

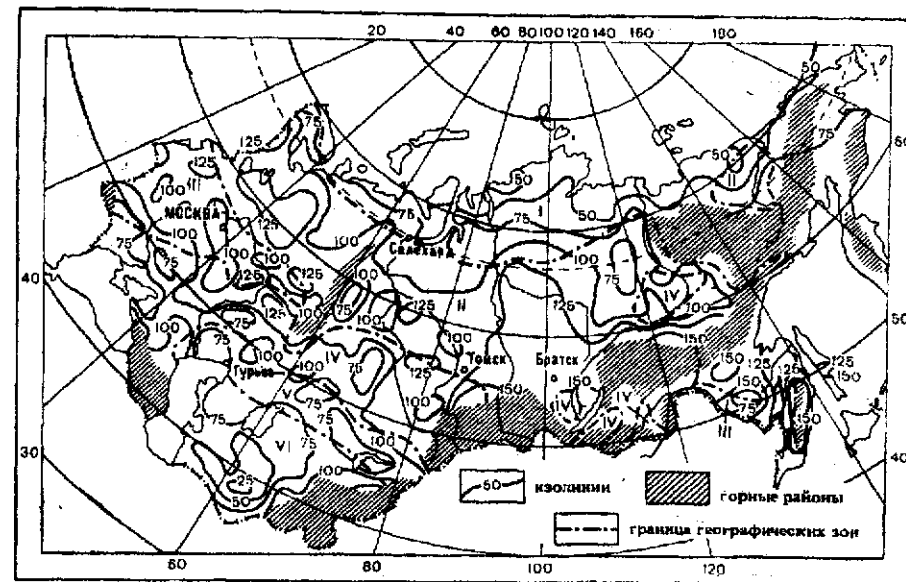
Контроль забруднень атмосферного повітря, вод морів і ґрунту для цього рівня впливу примикає до контролю в зонах інтенсивного впливу, а в деяких випадках – до контролю на фоновому рівні.

Повсюдний контроль забруднень на регіональному рівні особливо важливий для широко розповсюджених забруднювачів: для води – це нафтопродукти, для атмосферного повітря і інших середовищ – це двоокис сірки, продукти її перетворень і продукти глобальних радіоактивних випадань, що поширюються на великих територіях.

Прикладом регіонального підходу до контролю забруднень (і інших впливів) є визначення "запасів" довгоживучих радіонуклідів на території України, таких, як ^{137}Cs і ^{90}Sr , а також потужності дози (і дозових навантажень) у поверхні землі за рахунок природної радіоактивності і глобальних випадань штучних радіоактивних ізотопів (що утворилися в результаті іспитів ядерної зброї). Цей вид контролю близько примикає до контролю на фоновому рівні.

Для здійснення зазначеної роботи потрібно проведення регулярних (але не частих) разових вимірів, що можуть забезпечуватися літаковими гамма-зйомками (виміри гамма-випромінювання зазначених радіонуклідів). Частота зйомок визначається можливою швидкістю зміни обстановки (концентрацій радіонуклідів і потужностей доз гамма-випромінювань). З огляду на те, що запаси таких ізотопів міняються досить повільно (за рахунок розпаду, невеликих по інтенсивності випадань із стратосфери і міграції), у даний час не більш декількох відсотків у рік, досить проведення таких зйомок один раз у кілька років. Здійснення однієї зйомки на території країни протягом декількох місяців є практично разовою, і дані можуть бути екстрапольовані без істотної помилки до серединного для знімального інтервалу часу моменту.

Приведемо результати такої гамма-зйомки. На мал. 4.1 показаний розподіл глобального запасу ^{137}Cs , тобто кількості радіоактивного ізотопу цезію-137 на одиницю площі (мКи/км²).



Малюнок 4.1 – Розподіл запасу ^{137}Cs (мКи/км²) на території СРСР:
I – тундра і лісотундра, II – хвойний ліс, III – змішаний ліс; IV – лісостеп і степ,
V – напівпустеля, VI – пустеля.

На території колишнього Радянського Союзу середня концентрація ^{137}Cs складає 92 мКи/км². Розподіл ізотопу цезію по території країни носить в основному зональний характер із максимальними рівнями забруднення 100-175 мКи/км² у широтному поясі 50-60° північної широти. У гірських районах рівні забруднення збільшуються за рахунок більш інтенсивних випадань у цих районах. Забруднення по всій території носить плямистий характер – випадання з атмосфери цезію-137 корелює з кількістю опадів у даному районі.

Лабораторний аналіз показав повсюдну кореляцію між концентраціями довгоживучих ізотопів ^{137}Cs і ^{90}Sr (^{90}Sr із літака не визначається). З погіршенням не більш 10% запас ^{90}Sr може бути визначений за допомогою співвідношення

$$q_{\text{Sr}} = 0,54 q_{\text{Cs}} \quad (4.1)$$

(коефіцієнт у цьому співвідношенні незначно міняється для різних ґрунтів). Середній запас ^{90}Sr , розрахований таким чином, складає для території нашої країни 50 мКи/км².

Потужність дози від ^{137}Cs на поверхні землі складає в середньому 0,6 мкР/год і може бути знайдена для будь-якого району зі співвідношення

$$P = 6,5 \cdot 10^{-3} q, \quad (4.2)$$

де P – у мкР/год, q – у мКи/км².

Зміна приведенного коефіцієнта зв'язана із заглибленням ^{137}Cs у ґрунті, що сильніше усього виражено на орних землях – у районах ріллі потужність дози може бути нижче в 2,5 рази.

Карти розподілу потужності дози по території колишнього СРСР від природних радіоактивних елементів показують, що цей розподіл визначається типами ґрунтів і гірських порід, що містять різну кількість радіоактивних елементів – урану, торію і калію.

Внесок потужності дози від ^{137}Cs у загальну потужність дози в даний час невеликий – він складає приблизно 10% потужності дози від природних радіоактивних елементів у гірських породах і ґрунтах.

Зовнішнє річне опромінення на території колишнього СРСР (на поверхні землі) за рахунок природних і штучних радіонуклідів і космічного випромінювання коливається від 50 (у зоні тундри) до 90-95 мрад/рік (у степах і пустелях). У деяких гірських районах доза може бути значно більше (за рахунок радіоактивності гірських порід і збільшення з висотою космічного випромінювання). Приведений приклад визначення запасу радіоактивних ізотопів від глобальних випадань є одночасно і прикладом контролю забруднень на фоновому рівні, тому що дозволяє визначати дані забруднення в будь-яких зонах, у тому числі і найменш забруднених.

Масові фонові спостереження забруднень вод суші і морів проводять зі станцій категорій IV і III відповідно. На цих станціях виміри здійснюються: для вод суші – по загальній програмі гідрологічних спостережень (1 раз у сезон), для морських вод – по повній програмі також 1 раз у сезон. У задачу цих станцій входять спостереження за фоновими рівнями забруднення, їх сезонною і річною мінливістю.

До фонових рівнів відносяться виміри більш ніж на 70 станціях хімічного складу опадів по програмі ВМО (цей вид спостережень відповідає вимірам на регіональному рівні).

Для комплексної оцінки стану природного середовища, підданої антропогенним впливам і в першу чергу впливу забруднень на фоновому рівні, потрібна була постановка комплексних досліджень у районах, спеціально обраних для цих цілей.

Тут організовані біосферні заповідники на базі існуючих чи заповідників стаціонарів.

Комплексна програма спостережень у біосферних заповідниках включає виміри забруднень на фоновому рівні, вивчення реакції біоти на ці забруднення, а також необхідні супутні гідрометеорологічні спостереження і є в такий спосіб складовою частиною екологічного моніторингу.

Фонові спостереження організовані також у районах високогірних льодовиків на шляху ведучого потоку, що оперізує північну півкулю (вони включають аналіз проб снігу і льоду).

На базі озонотричних станцій організовані спостереження за станом озоносфери (вимір інтегрального змісту озону); ці спостереження також відносяться до фонових. Розширення таких спостережень вимагає організації виміру профілів озону і змісту у верхній атмосфері малих домішок, що впливають на озоновий шар.

Уся інформація із зон із будь-яким рівнем впливу як екстрена, так і узагальнена за визначені інтервали часу надходить із систем контролю

забруднень у зацікавлені організації, звичайно, найбільше оперативно із зон інтенсивного впливу.

Як відзначалася система контролю забруднень природного середовища побудована по ієрархічному принципі. Первинною ступінню (рівнем) є пункт (пункти) спостереження, відкідля інформація передається в центр збору і обробки інформації. Для автоматизованої системи, розвиток якої здійснюється в даний час, первинною ступінню є локальна система, що обслуговує окремий район, місто. Ця ступінь складається з двох частин – контрольно-замірних станцій і обчислювального центра.

У центрі збору інформації (обчислювальному центрі) дані обробляються, сортуються і передаються на наступний рівень – регіональний (територіальний) обчислювальний центр (РОЦ, ТОЦ). Із зазначених центрів інформація про забруднення природного середовища передається місцевим зацікавленим організаціям.

Третім рівнем системи є головний центр даних, у якому збирається і узагальнюється інформація про забруднення природного середовища в масштабі країни.

Можливий і проміжний рівень – збір і узагальнення даних про забруднення різних середовищ в обчислювальних центрах науково-дослідних інститутів, відповідальних за відповідні напрямки робіт (такий збір здійснюється паралельно, без затримки передачі даних у головний центр даних).

У зазначених центрах здійснюється детальний аналіз отриманої інформації, дослідження особливостей забруднення природних середовищ, що спостерігаються.

Автоматизація вимірів проводиться для контролю забруднень як повітря, так і вод суші і морів. Перші локальні автоматизовані системи контролю забруднень атмосфери створюються в Києві і Харкові. Створено першу досвідчену систему автоматизованого контролю якості води на р. Дніпр.

На автоматизованих станціях контролю забруднень води вимірюються температура, рН, еН, електропровідність, мутність води, розчинений кисень.

Розробляються детектори з використанням іонселективних електродів і інших методів для безупинного визначення іонів хлору, фтору, міді, нітратів, ціанідів, а також аміаку, сірководню, первинної біологічної продукції.

Надалі передбачається комбіноване використання автоматизованих безупинних спостережень (*in situ*) із лабораторними аналізами проб води. В автоматизованих системах передбачається повна автоматизація обробки і передачі даних.

Державному обліку підлягають усі води, усі водянні об'єкти, що складають єдиний державний водяний фонд країни, а також використання вод усіма водокористувачами і підприємствами, організаціями і установами. Зазначена система складається з мережі спостережень, одержання, обробки, передачі, збереження і представлення зацікавленим організаціям інформації про стан усіх водяних об'єктів, а також інформації про використання вод і їхньої якості.

Органами Мінекології забезпечується державний облік водних ресурсів (крім підземних), тобто облік природної складової припливу поверхневих вод, і організація спостережень і контроль за рівнем забруднення вод по фізичних, хімічних і гідробіологічних показниках.

Міністерство геології проводить облік ресурсів підземних вод, спостереження за їх режимом і якістю.

Державний облік вод по розділу "якість вод" здійснюється в рамках служби спостережень і контролю за забрудненням об'єктів природного середовища.

Державний облік вод і ведення Державного водного кадастру виходять за рамки моніторингу забруднення природного середовища, але тісно зв'язані з ним і з більш широкою системою моніторингу антропогенних змін стану навколишнього середовища.

Своєчасне попередження про високі рівні забруднення, а також несприятливі для виникнення таких рівнів забруднення гідрологічних і метеорологічних умовах дозволяє вчасно вжити заходів по ліквідації чи попередженню таких забруднень.

Наприклад, попередження про несприятливі метеорологічні умови дає можливість вжити ефективних заходів організаційного і технологічного характеру по зменшенню виникнення небезпечних рівнів забруднення (перехід на низькосірчисте паливо, зменшення потужності ТЕЦ, обмежений випуск автомашин на вулиці міста).

Найважливіший крок по регулюванню стану природного середовища – виявлення джерел забруднень і встановлення контролю за ними шляхом обмеження викидів забруднюючих речовин і введення твердих норм на такі викиди. Масова розробка і впровадження норм гранично допустимих викидів у природне середовище почалися після прийняття Закону про охорону атмосферного повітря.

Контроль за джерелами викидів забруднюючих речовин в атмосферу і за джерелами скидань у воду здійснюється Мінекології.

До дійсного часу довершене виявлення всіх джерел забруднення – проведена загальносоюзна інвентаризація джерел викидів забруднюючих речовин в атмосферу і інші середовища. У результаті інвентаризації отримані характеристики викидів по основних підприємствах різних галузей народного господарства, основним економічним районам і майже по 50 містам.

Законом про охорону атмосферного повітря передбачене введення норм, що обмежують викид будь-якими джерелами забруднюючих речовин і будь-які шкідливі впливи, у тому числі, що оказують несприятливий вплив на саму атмосферу.

Розробка таких норм повинна починатися з визначення екологічно допустимого впливу і допустимого впливу на людину, вироблення норм, що обмежують такий вплив, наприклад, норм ГДК у природних середовищах для людини, рибогосподарських ГДК і ГДЕН на екосистеми. Далі виробляються критерії, спрямовані на обмеження викидів джерелами забруднення, – норми

ГДВ забруднюючих речовин у навколишнє середовище, що повинні зупинятися з урахуванням дотримання норм ГДК і ГДЕН.

В Україні розроблена і упроваджена велика кількість норм, що контролюють рівень забруднення повітря. Норми ГДК (санітарно-гігієнічні норми, критерієм для встановлення яких є забезпечення здоров'я населення) розроблені для 263 хімічних речовин і 47 їхніх комбінацій; розробляються норми гранично допустимих навантажень для екологічних систем.

При виробленні норм ГДВ необхідно враховувати велику кількість факторів: гідрометеорологічні характеристики, рельєф, розподіл (у просторі і часі) джерел забруднення і контингентів населення і екосистем, підданих впливу, чутливість різних організмів до впливів.

У випадку якщо досягнення якої-небудь обґрунтованої (по санітарно-гігієнічним чи екологічним критеріям) норми в даний момент неможливо по економічним чи науково-технічним розумінням, допускається введення тимчасово погоджених викидів (ТПВ) із поступовим, східчастим переходом (у визначений термін) до встановленої норми. Однак такий шлях можливий тільки за умови безпечних рівнів впливу на людину і неперевищення критичних рівнів для екосистем. У протилежному випадку вимагаються "заборонні" рішення стосовно тих чи інших джерел забруднення.

Норми ГДВ вводяться одночасно для всіх тих підприємств, викиди яких забруднюють атмосферне повітря на території міста чи населеного пункту, таким чином, досягається оптимізація допустимих викидів від сукупності джерел. При рішенні цієї задачі розглядається кілька варіантів і вибирається той варіант, здійснення якого уявляється найбільш простим, вимагає мінімальних витрат і веде до найкращих результатів.

Комплексна організація робіт з урахуванням можливого розширення функцій ряду міністерств і відомств (особливо в частині встановлення і наступного контролю за дотриманням норм і стандартів, що обмежують до допустимих значень викиди забруднюючих речовин різними джерелами) дозволить у нашій країні забезпечити ефективний захист природного середовища від антропогенних впливів і в першу чергу від забруднень і зберегти високу якість природного середовища.

Організація моніторингу антропогенних впливів і в першу чергу від забруднень на національному рівні (і участь у глобальній системі моніторингу) визнана необхідною в багатьох країнах. При цьому найважливіші риси систем моніторингу в різних країнах повинні бути однаковими, повинна бути єдина концепція моніторингу, що включає здійснення спостережень, оцінки і прогнозу стану природного середовища, уніфікації вимірів, єдине визначення пріоритетності при спостереженнях, вироблення оцінки критеріїв, оцінки стану природного середовища і т.п. Однак очевидно, що в кожній країні така система базується на існуючих системах спостережень, що нерідко відбивають якоюсь мірою організаційну структуру керування господарством у даній країні. Тому цікаво розглянути схему організації системи моніторингу в якій-небудь країні.

Нижче викладається підхід до організації моніторингу природного середовища у Великобританії.

Організація охорони навколишнього середовища у Великобританії не являє собою єдиної, заздалегідь спланованої системи (у зв'язку з тривалістю її формування).

Серед задач в області охорони навколишнього середовища на перше місце ставляться питання, зв'язані з підтримкою життя людини і його здоров'я, захист тварин і рослин, які використовуються людиною, питання рекреації і проблема зменшення будь-яких несприятливих наслідків на навколишнє середовище.

Велику роль грає боротьба із забрудненням для запобігання збитку здоров'ю людини, а також для захисту природного середовища. Особлива увага звертається на вивчення наслідків, ефекти яких можуть бути виявлені лише через тривалий час.

У Великобританії мається система заказників, національних парків, зелених поясів для захисту і збереження біологічних систем, для боротьби із забрудненням організується на додаток до існуючих між система моніторингу забруднень.

Система моніторингу створюється у Великобританії відповідно до наявних нестатків, а отримані результати використовуються для прийняття рішень у керуванні. Ця програма повинна забезпечити спостереження як за причиною, так і за ефектом впливу; метою моніторингу є визначення зв'язку між зміною рівнів забруднення і наслідками таких забруднень для біологічних систем.

Важливим для організації моніторингу визнається економічний аспект. Таким чином, визначення балансу між витратами на контроль і регулювання забруднення і іншими програмами охорони природи вимагає точної і великої інформації.

Моніторинг у Великобританії будується по двох напрямках:

1) контроль якості; тут оперативно оцінюється "що відбувається" – проводяться виміри відомих забруднювачів, визначаються стандарти на такі забруднюючі речовини для навколишнього середовища і здоров'я людини;

2) напрямок, що характеризується як "пильність, передбачливість"; тут мова йде про нові можливі небезпеки – про нові забруднювачі, нові отрути, про нові прояви в реакції біоти на дії різних речовин, нові хвороби. Для цієї частини моніторингу особливо важлива оцінка ефектів, що з'являються.

Особливістю побудови різних систем у Великобританії є те, що відповідальність за системи покладається на місцеві влади, і, що особлива увага приділяється тісному співробітництву між населенням і приватними компаніями.

Таким чином, хоча у Великобританії і існують деякі національні програми, основні заходи в області моніторингу проводяться на локальному рівні. Відзначимо дві головні програми нагляду: національну службу контролю забруднення атмосфери і службу контролю забруднення рік. Обидві програми представляють свої результати у виді карт рівнів забруднення.

Проведені виміри показали гарну кореляцію між отриманими концентраціями двоокису сірки і диму і розрахованими (по кількості і типам

палива, що спалюється,) викидами (і джерелами) забруднень, а також частотою захворюваності населення. Ця закономірність дозволяє трохи спростити моніторинг.

Моніторинг ефектів забруднень – найважливіший тип моніторингу, оскільки при цьому здійснюється контроль за джерелами забруднення, концентраціями забруднюючих речовин у "гарячих точках" і станом здоров'я "критичних" груп людей, особливо сприйнятливих до впливу шкідливих факторів навколишнього середовища. Наприклад, проводилися спеціальні спостереження за жителями Бирмінгема, що були піддані впливу підвищених концентрацій свинцю.

Розвивається також біологічний моніторинг із метою контролю стану атмосферного повітря (за допомогою мохів і лишайників) і поверхневих вод (за допомогою водоростей і деяких видів риб).

Однак в англійських роботах відзначається, що для ефективної роботи необхідна організація централізованих інформаційних служб; уже робиться спроба створення мережі даних "раннього попередження" по найбільш небезпечних хімічних сполуках, що забруднюють навколишнє середовище. Проводяться регулярні токсикологічні дослідження, епідеміологічні обстеження, клінічні іспити.

Ідея розробки всебічної, уніфікованої системи моніторингу знайшла відображення в доповіді Королівської комісії із забруднення навколишнього середовища.

Для гармонізації (координації) програм моніторингу на різних рівнях у Великобританії створено кілька груп (комітетів) керування моніторингом; вони займаються проблемами фізичних аспектів різних природних середовищ (повітря, прісної води, моря і суші), питаннями здоров'я людини і стану біологічних систем.

На думку англійських фахівців, для оцінки збитку від забруднень здоров'ю людини і природним екосистемам необхідно виявити джерела забруднень, визначити концентрацію і властивості забруднювачів, шляхи їх міграції, природу взаємодії з іншими речовинами. У зв'язку з цим у Великобританії існує тенденція встановлення погоджених показників якості навколишнього середовища, що враховують здатність окремих природних середовищ переносити виникаючі навантаження (ця здатність розглядається як природний ресурс, а показник якості природного середовища – як важіль керування).

Затверджується, що заходи щодо регулювання якості природного середовища (шляхом зміни потужності і розташування джерел) повинні бути не скрізь однаковими, повинні враховувати конкретні можливості середовища до розведення і виведення забруднюючих речовин. Це вимагає всебічного підходу до аналізу навколишнього середовища, використання різних моделей.

Таким чином, у Великобританії вважається кращим підхід, заснований на використанні показників якості навколишнього середовища, ніж на контролі джерел забруднень. Такий підхід пред'являє досить тверді вимоги до моніторингу, вимагає включення в програму спостережень широкого діапазону

речовин. Однак у Великобританії не вважають єдиною основою для дій спостереження за речовинами по якому-небудь пріоритетному списку. Комплексний аналіз впливів з урахуванням реальної обстановки, виявлення можливого впливу різних речовин ще до їхньої появи (особливо лікарських – препаратів і пестицидів) є домінуючими при науковому обґрунтуванні моніторингу в даний час.

Саме для цих цілей у країні створюється централізована мережа даних по хімічним сполукам, що буде збирати основні відомості про забруднюючі речовини, результати їхньої перевірки і оцінки стану природного середовища, створюється єдиний банк даних по забрудненню.

Стан навколишнього природного середовища у Великобританії неоднорідний, місцями атмосферне повітря і поверхневі води істотно забруднені. Це вимагає організації детального моніторингу; важко установити єдині критерії якості природного середовища, води в ріках для всіх місць; якість кожного водотоку чи ріки розглядається окремо. Половина всіх даних по якості води в ріках (усього зазначено більш 30 рік) по БСК (біологічне споживання кисню) указує на сумнівну чи погану якість води (5-7 мг/л і вище). Для того щоб таку воду використовувати в якості питний, буде потрібно її хлорування до точки освітлення, коагуляція, осадження, фільтрація, очищення активованим вугіллем і обробка озоном. Якась частина такої води зажадає біологічного очищення чи знесолення. Верхів'я рік, як правило, не забруднені; тенденція забруднення рік спостерігається в міру наближення до естуаріїв.

У зв'язку з малою водністю гідрологічні умови особливо уважно повинні враховувати мінливі гідрологічні умови особливо уважно.

Вода в ріках Великобританії піддається ретельному аналізу по ряду найважливіших показників, у першу чергу, по рН, температурі, електропровідності чи загальній кількості розчинених твердих речовин, зваженим твердим речовинам, золі, хлоридам, аміаку, ХСК (хімічне споживання кисню) і ВСК, розчиненому кисню.

Точність вимірів складає, як правило, $\pm 20\%$ вимірюваної величини; при узятті проб дотримується критерій однорідності (по поперечному перерізі ріки) даного параметра.

Велика увага приділяється у Великобританії моніторингу з використанням гідробіологічних показників.

Використання даних моніторингу забруднення атмосферного повітря (фоновий моніторинг) перед проектуванням і будівництвом нових підприємств (електростанцій і ін.) є необхідним компонентом у сполученні з моделюванням можливих забруднень у прилягаючій зоні.

Останнім часом у Великобританії поширюється підхід, зв'язаний з екологічним аналізом як засіб контролю стану природного середовища.

Контрольні питання

1. Перерахуйте основні принципи і задачі глобальної системи моніторингу навколишнього середовища (ГСМНС).
2. Кінцеві цілі глобального і регіонального моніторингу.
3. Що Вам відомо про існуючу екологічну і техногенну обстановку в Україні?
4. Які види забруднень повітряного басейну, вод і ґрунтів характерні для України?
5. Якими службами здійснюється контроль стану природного середовища в Україні?

ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. – М.: Гидрометеиздат, 1984. – 560 с.
2. Охрана окружающей природной среды: Учебник для вузов/ Под ред. Г.В. Дуганова. – К.: Высш. шк., 1988. – 304 с.
3. Охрана и оптимизация окружающей среды/ Под ред. А.А. Лаптева. – К.: Лыбидь, 1990. – 256 с.
4. Временная методика нормирования временных выбросов в атмосферу. – М.: Главпромстройиндустрия, 1994. – 26 с.
5. Расчет рассеивания вредных веществ в приземном слое атмосферы к проекту ПДВ и ВСВ. – Харьков: Харьковский центр НТТМ "Практика", 1989.
6. Вронский В.А. Прикладная экология: Учебное пособие. – Ростов-на-Дону: Изд. Феникс, 1996. – 512 с.
7. Хоружая Т.А. Методы оценки экологической опасности. – М.: "Экспертное бюро-М", 1998. – 224 с.
8. Безопасность жизнедеятельности: Учебное пособие Ч.І-М.: Инф.-внедр. центр "Маркетинг", 1998. – 224 с.
9. Рахманин Ю.А. и др. Новые нормативные документы по контролю качества питьевой воды. – М.: Водоснабжение и питьевая техника, 1995. – №12.
10. Экология: Учебное пособие/ Под ред. С.А. Боголюбова. – М.: Изд. Знание, 1997. – 288 с.
11. Некос В.Е. Основы общей экологии и неоекологии. Ч.2. – Х. Изд. ХГУ, 1998. – 156 с.
12. Акимова Т.А., Хаскин В.В. Экология: Учебное пособие. – Х.: Изд. ЮНИТИ, 1998. – 400 с.
13. Лозанская И.Н., Орлов Д.С., Садовникова Л.К. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. – М.: Высшая школа, 1998. – 287 с.
14. Охрана окружающей среды: Учебное пособие/ Под ред. С.И. Белова. – М.: Высшая школа, 1991. – 319 с.
15. Стаднецкий Г.В., Родионов А.И. Экология: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 1988. – 272 с.
16. Кормилицин В.И., Цицкишвили М.С., Яламов Ю.И. Основы экологии: Учебное пособие. – М.: Изд. Интерсталь, 1997. – 368 с.
17. Цыбанов А.В. Экологические основы мониторинга. – М.: 1999. – 440 с.
18. Бондар О.І., Корінько І.В., Ткач В.М., Федоренко О.І., Основы екології. Навчальний посібник. – Х.-К.: ООО «Полтава-Прінт», 2005, 235 с.

Додаткова

1. Методические указания по использованию вредных веществ в воздухе рабочей зоны. – Черкассы, 1987. – 57 с.
2. Определение реальной аэрогенной химической нагрузки, сформированной атмосферными загрязнениями, на различные возрастные группы населения. Методические рекомендации. – К.: МОЗ УССР, 1986. – 14 с.
3. Методические рекомендации по гигиенической оценке стабильности и трансформирования химических веществ в воздушной среде. – М.: МОЗ СССР. 1986. – 30 с.
4. Методичні рекомендації по санітарній охороні ґрунту від забруднення твердими промисловими відходами та шлаками. – К.: 1982. – 12 с.
5. Методические рекомендации по оценке токсичного действия пестицидами на микрофлорную группу. – М.: 1981. – 20 с.
6. Екологічна токсикологія на порозі ХХІ сторіччя. Збірник наукових робіт. – К.: ДІПК Мінекобезпеки України, 1997. – вип. – 216 с.
7. Методические указания по расчету выбросов вредных веществ автомобильным транспортом. – М.: Гидрометеиздат. 1983. – 17 с.
8. Галал Г.Г., Джелинек Ч.Ф. Обзор данных о содержании забруднювачів в пищевых продуктах. //Бюл. ВОЗ. – 1985 т.63. – №5. – с. 80-97.
9. Экологическая и техногенная безопасность. Сб. научных трудов. /Под ред. А.И. Федоренко, И.В. Зозули. – Х.: ХІСП. 2000. – 392 с.
- 10.36. наук. праць "Вісник ХІСП. Сер. Екологія, техногенна безпека і соц. Прогрес". Х.: ХІСП. Вип. 1, 2001, 190 с; Вип.1(2) 2002, 400 с; Вип. 1-2 (3-4) 2003, 268 с; Вип. 3(5) 2003; Вип. 1(6) 2004, 190 с.
11. Екологічний вісник. Науково-популярний еколог. Журнал. К.: ВЕЛ. №1-12, 2002; №1-12, 2003, №1-12, 2004; №1-6, 2005.
12. Бондар О.І., Корінько І.В., Ткач В.М., Федоренко О.І. Радіоекологія. Навчальний посібник. Х. – К.: ООО «Планета - Принт. 2005, 100 с.

Навчальний посібник

Бондар Олександр Іванович, доктор біологічних наук, професор
Корінько Іван Васильович, доктор технічних наук
Ткач Вікторія Миколаївна, кандидат технічних наук, доцент
Федоренко Олександр Іванович, доктор фіз.-мат. наук, професор

МОНІТОРИНГ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Під редакцією проф., докт.фіз.-мат.наук,
академіка АН Вищої школи України О.І.Федоренко

Навчальний посібник видано за рахунок коштів
ДКП „Харківкомуночиствод”

Редактор: В.М. Ткач

Комп'ютерний набір: А.О. Косенко

Підписано до друку 20.05.05 р. Здано в набір 05.06.05 р.
Формат 60×84 1/16. Друк офсетний. Гарнітура Times New Roman.
Умовн. друк. арк. 8. Облік. видавн. арк. 10. Тираж 300 прим.
Видання замовл.

Державний екологічний інститут Мінприроди України
Україна, 03035, м. Київ, вул. Урицького, 35.
Тел./факс: 8(044)206-31-32
E-mail: dei@menr.gov.ua

Гуманітарно-технічний інститут
Україна, 61093, м. Харків, вул. Канлаурова, 2.
Тел.: 8(057)772-21-05, Тел./факс: 8(057)372-40-08
E-mail: gti@bj.com.ua/x-gti@km.ru

Видавничо-поліграфічна фірма ТОВ „Планета-Прінт”
Україна, 61024, м. Харків, вул. Гуданова, 4/10.
Тел./факс: 8(057)704-12-41
E-mail: PLANETAPRINT@MAIL.RU