

Міністерство освіти і науки України  
Чорноморський національний університет імені Петра Могили

**Добровольський В. В.,  
Безсонов Є. М.**

**Системний аналіз якості  
навколишнього середовища**

---

Навчальний посібник



Миколаїв – 2018

УДК 502.175-047.44(075.8)

Д 56

*Рекомендовано до друку вченою радою ЧНУ ім. Петра Могили (протокол № 4 від 13 грудня 2018 р.).*

**Рецензенти:**

**Тимошевський Б. Г.**, доктор технічних наук, професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння Національного університету кораблебудування ім. С. О. Макарова;

**Антипова Л. К.**, доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри рослинництва та садово-паркового господарства Миколаївського національного аграрного університету;

**Наконечний І. В.**, доктор біологічних наук, професор кафедри екології та природоохоронних технологій Національного університету кораблебудування ім. С. О. Макарова.

Д 56

Добровольський В. В. Системний аналіз якості навколишнього середовища : навч. посіб. / В. В. Добровольський, Є. М. Безсонов. – Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2018. – 164 с.

**ISBN 978-966-336-411-7**

Теорія САЯНС базується на основних біосферних законах (Вернадського В. І., динамічної рівноваги, еволюційно-біфуркаційного розвитку та інших), дія яких узагальнена через поняття «екологічна характеристика організму» – ЕХ. Використання ЕХ дозволяє оцінити якість навколишнього середовища об'єкта дослідження на різних рівнях як якість дії екологічного фактору, якість екологічної ніші організму (популяції) та якість екологічної системи в цілому. Введення поняття «ідеальна ЕХ» дозволяє проводити аналіз якості середовища по ГДЗ екологічних факторів не по дворівневій моделі, а більш ґрунтовно – з визначенням декількох рівнів якості.

У посібнику розглядаються ЕХ рослин і тварин природного і штучного походження. Значна увага приділяється особливостям оцінки навколишнього середовища людини – об'єкта, який має не лише матеріальні ЕХ, а й відчуває значні соціальні впливи.

Окремий модуль посібника присвячено регуляторним шляхам впливу на якість навколишнього середовища.

Призначено для студентів магістратури вищих навчальних закладів, які навчаються на спеціальності 101 «Екологія».

УДК 502.175-047.44(075.8)

© Добровольський В. В., Безсонов Є. М., 2018

© ЧНУ ім. Петра Могили, 2018

ISBN 978-966-336-411-7

# ЗМІСТ

---

Вступ.....	5
<b>МОДУЛЬ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДИСЦИПЛІНИ .....</b>	<b>8</b>
1.1. Призначення і зміст навчальної дисципліни .....	8
1.2. Історичний досвід дослідження взаємовідносин організмів та середовища існування.....	11
1.3. Особливості ключових понять дисципліни .....	16
1.4. Основи екосистемології .....	21
1.5. Особливості індивідуальних консорцій та соціоекосистем .....	26
1.6. Методи системного аналізу .....	29
1.7. Якість навколишнього середовища.....	36
1.8. Об'єкт і суб'єкт досліджень.....	40
1.9. Системні зв'язки об'єкта дослідження .....	46
1.10. Способи оцінки якості екологічного фактору.....	50
1.11. Методи оцінки якості навколишнього середовища.....	55
1.12. Міжнародний досвід в оцінюванні якості навколишнього середовища.....	59
1.13. Якість навколишнього середовища в контексті сталого розвитку біосфери.....	63
<b>МОДУЛЬ 2. ЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОРГАНІЗМУ ЯК ЗВ'ЯЗУЮЧЕ ПОНЯТТЯ В СИСТЕМІ ОЦІНКИ ЯКОСТІ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....</b>	<b>69</b>
2.1. Класифікація екологічних характеристик .....	69
2.2. Особливості ярусних і ойкуменних екологічних характеристик .....	72

2.3. Живий організм як основний індикатор якості навколишнього середовища.....	76
2.4. Нормативний підхід до регулювання рівня антропогенного навантаження: методологічні ніші та шляхи вдосконалення .....	85
2.5. Токсико-енергетична екологічна характеристика гідробіоти як інтегральний індикатор якості навколишнього середовища.....	89
2.6. Системний аналіз якості навколишнього середовища за екологічною характеристикою організму .....	100
2.7. Багатофакторні екологічні характеристики.....	106
<b>МОДУЛЬ 3. УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА .....</b>	<b>111</b>
3.1. Динаміка якості біосфери .....	111
3.2. Рівні і шляхи управління якістю навколишнього середовища ....	117
3.3. Принципи управління якістю навколишнього середовища .....	124
3.4. Методи і механізм управління якістю навколишнього середовища .....	129
3.5. Принципова схема системи управління на місцевому рівні .....	132
3.6. Особливості підсистеми контролю якості навколишнього середовища .....	134
3.7. Особливості підсистеми регулювання якості навколишнього середовища .....	137
3.8. Особливості управління водною природно-штучною системою .....	139
3.9. Управління режимами експлуатації руслового водосховища .....	143
3.10. Визначення екологічних ризиків водозабезпечення в екологічних системах .....	149
Список рекомендованої літератури .....	163

## Вступ

---

У 2014 році у перелік нормативних дисциплін навчального плану магістеріуму екологів було введено нову дисципліну – Системний аналіз якості навколишнього середовища (САЯНС). Перший досвід викладання дисципліни виявляє значні розбіжності в розумінні змісту САЯНС в різних університетах України.

У роботі зіставлено методологічні підходи до змісту САЯНС на кафедрах екології таких вищих навчальних закладів: Чорноморського національного університету імені Петра Могили, Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, Житомирського державного технологічного університету, Луцького національного технічного університету, Харківської національної академії міського господарства.

Зіставлення виконано в три етапи. На першому етапі виконано оцінку відповідності змісту САЯНС ключовим поняттям, що містяться в назві дисципліни, а саме: система, аналіз, системний аналіз, якість, навколишнє середовище. На другому етапі проводилася оцінка САЯНС за метою і завданням навчальної дисципліни. На третьому етапі виконано узагальнення інформації відповідно до мети будь якого магістеріуму – вдосконалення компетенції бакалавра за рахунок підвищення наукового рівня знань та розширення практичних умінь. Узагальнення представлено у вигляді структурно-логічної схеми забезпечення дисципліни САЯНС як на рівні магістеріуму, так і за рахунок спадкових знань і умінь, отриманих у бакалавраті з екології.

На завершення виконано порівняння анотованих вітчизняних джерел інформації з аналогічним білоруським, яке вказує на відчутні переваги останнього в теоретичному аспекті.

Аналіз відповідної навчально-методичної літератури показав, що в різних університетах України зміст дисципліни САЯНС уявляється по-різному, що не відповідає вимогам до нормативної навчальної дисципліни. З п'яти розглянутих варіантів змісту САЯНС найбільш повним є варіант ЧНУ імені Петра Могили, який рекомендується у якості базового, побудованого на основі наступних науково-методологічних принципів:

– об'єктом піклування є живий організм (людина, рослина, тварина) чи сукупність організмів (соціум, популяція, сім'я тощо). Будь-який об'єкт характеризується властивостями життєдіяльності, що вимірюються з допомогою відповідних кількісних показників (індикаторів) чи комплексних критеріїв оцінки (індексів);

– якість навколишнього середовища – це рівень відповідності умов середовища проживання об'єкта (у вигляді екологічних факторів) його вимогам до цих умов;

– залежність значень показника об'єкта від величини дієвого фактору середовища представляється у вигляді так званої екологічної характеристики, що віддзеркалює результат історичного пристосування організму до навколишнього середовища. Внаслідок вірогіднісного характеру змін природних абіотичних екологічних факторів екологічні характеристики мають вигляд математичних залежностей випадкових величин;

– процедура оцінки якості навколишнього середовища об'єкта починається з визначення рівня якості дієвого фактору, що здійснюється з допомогою відповідної екологічної характеристики. Значення фактору в зоні толерантності, яка визначається диференціюванням залежності  $\Pi = f(\Phi)$ , відповідає вищому рівню якості. Межею між значеннями середньої і низької якості є лінія 95-ти відсоткової забезпеченості фактору. Далі за значеннями рівнів якості окремих факторів розраховується рівень якості екологічної ніші об'єкта, а потім – рівень якості навколишнього середовища в цілому.

Навчальна дисципліна «Системний аналіз якості навколишнього середовища» (САЯНС) є фундаментальною і провідною при підготовці магістрів екології. Метою дисципліни є підвищення компетенції бакалавра екології до рівня сучасних вимог щодо теоретичних знань та практичних умінь майбутнього науковця в галузі енвайронментології та сталого розвитку біосфери.

У результаті вивчення САЯНС студент повинен **знати**:

- основи екосистемології;
- методи і критерії оцінки якості навколишнього середовища біологічних об'єктів, включаючи людину;
- засоби мінімізації негативного антропогенного впливу на якість природного середовища;
- особливості якості навколишнього середовища в секторальних екологічних системах: урбо-, агро-, техносистемах, на водних і наземних об'єктах та заповідних і рекреаційних територіях.

Студент повинен отримати такі **уміння**:

- системно описати об'єкти аналізу;
- виявити та формалізувати зв'язки між компонентами об'єкта аналізу;
- отримувати та аналізувати загальну та спеціальну інформацію щодо особливостей об'єкта, а також щодо засобів вирішення поставленого завдання;

## ***Системний аналіз якості навколишнього середовища***

---

- порівнювати, обґрунтовувати і використовувати наявну інформацію;
- визначити показники якості об'єкта аналізу;
- виконувати ранжування показників якості;
- обґрунтовувати вид критерію якості об'єкта аналізу;
- розробляти алгоритм дій при аналізі якості навколишнього середовища;
- обґрунтовувати заходи щодо підвищення якості навколишнього середовища;
- володіти навичками використання сучасної комп'ютерної техніки під час математичної обробки результатів досліджень.

Навчальний посібник складається з трьох модулів:

МОДУЛЬ 1 «Теоретичні засади САЯНС»;

МОДУЛЬ 2 «Екологічні характеристики об'єктів САЯНС»;

МОДУЛЬ 3 «Управління якістю навколишнього середовища».

В основу посібника покладено досвід викладання дисципліни в магістеріумі спеціальності 101 «Екологія» у Чорноморському національному університеті імені Петра Могили протягом чотирьох років.

Авторський внесок у написання навчального посібника такий:

1) канд. техн. наук, доцент Добровольський Валерій Володимирович – Модуль I (крім 1.12, 1.13); Модуль III (крім 3.10);

2) магістр екології, викладач Безсонов Євген Миколайович – Модуль II (крім 2.1, 2.2, 2.7).

Висловлюємо подяку шановним рецензентам за пропозиції та доповнення, які сприяли покращенню викладу матеріалу у навчальному посібнику: доктору технічних наук, професору Тимошевському Б. Г.; доктору сільськогосподарських наук, професору Антиповій Л. К.; доктору біологічних наук, професору Наконечному І. В.

# МОДУЛЬ 1.

## ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДИСЦИПЛІНИ

### 1.1. Призначення і зміст навчальної дисципліни

- *ключові поняття в назві дисципліни;*
- *мета і завдання навчальної дисципліни;*
- *об'єкт і предмет навчальної дисципліни;*
- *місце в навчальному плані;*
- *зв'язки компонентів САЯНС з навчальними дисциплінами.*

Назва навчальної дисципліни «Системний аналіз якості навколишнього середовища» (САЯНС) багатослівна і змістовна – кожне окреме слово і два словосполучення утворюють самостійні **ключові поняття** (табл. 1.1.1).

*Таблиця 1.1.1*

#### Ключові поняття

Слово чи словосполучення в назві дисципліни	Ключове поняття
Системний	Система
Аналіз	Аналіз
Системний аналіз	Системний аналіз
Якості	Якість
Середовища	Середовище
Навколишнього середовища	Навколишнє середовище

Навчальним планом магістеріуму передбачається поглиблення компетентності бакалавра екології в науковому і педагогічному напрямках. Дисципліна САЯНС є основною щодо вирішення вказаної задачі в науковому секторі – цілий навчальний рік відводиться на підвищення теоретичного рівня знань студентів у галузі екології та вирішення конкретного практичного завдання під час виконання курсової роботи.

**Метою** САЯНС є підвищення рівня професійної і громадської компетенції бакалавра екології шляхом збільшення обсягу та поглиблення теоретичних знань про якість навколишнього середовища і вдосконалення практичних навичок з використанням системного підходу.

Вказана мета досягається шляхом виконання таких завдань:

- обґрунтування наукових основ теорії системного аналізу якості навколишнього середовища живих організмів;
- розгляд сутності екосистемології;
- уточнення змісту операцій системного аналізу в екології;
- обґрунтування змісту поняття «якість навколишнього середовища»;
- розробка методики визначення рівня якості навколишнього середовища;

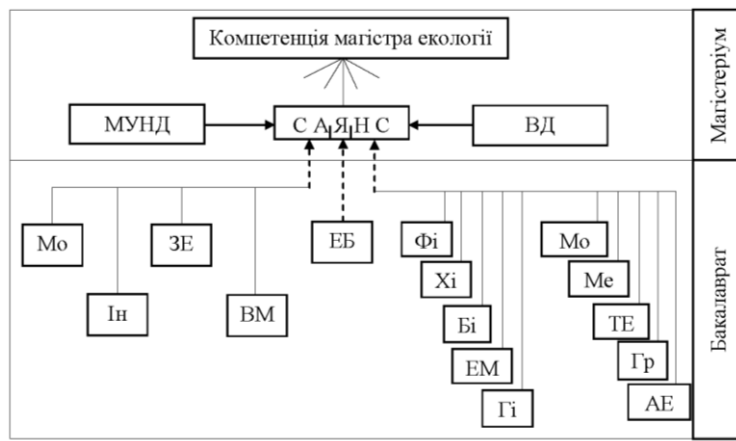


## Системний аналіз якості навколишнього середовища

- визначення центральної ролі екологічних характеристик у системі «екологічний фактор – організм»;
- обґрунтування багатофакторного і багаторівневого підходу до оцінки якості навколишнього середовища і управління його якістю;
- урахування можливостей сучасних інформаційних технологій, зокрема, при використанні математичного апарату;
- розробка алгоритму визначення рівня якості середовища життєдіяльності людини;
- підготовка до вирішення практичного завдання у вигляді курсової роботи.

**Об'єктом** навчальної дисципліни є екологічна або соціоекологічна система, чи її окремий біотичний компонент, а **предметом** – зв'язки між компонентами системи у вигляді екологічних характеристик.

Дисципліна САЯНС є провідною в навчальному плані магістеріуму, в якому готуються професійні екологи найвищого рівня. Разом з іншою нормативною дисципліною – «Методологія та управління науковою діяльністю» (МУНД) та деякими вибірковими дисциплінами (ВД) вона забезпечує необхідний рівень магістрів екології як науковців. Місце САЯНС у навчальному плані показано на рисунку 1.1.1, де представлена спрощена структурно-логічна схема зв'язків між дисциплінами, що вивчаються в бакалавраті і магістеріумі екологів.

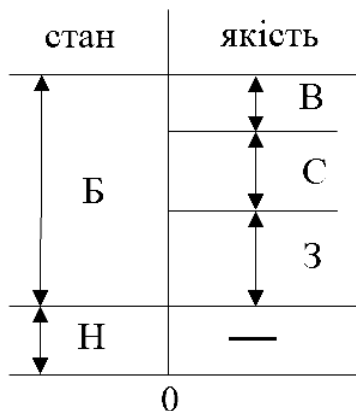


**Рис. 1.1.1.** Місце САЯНС у масиві навчальних дисциплін:

МУНД, САЯНС, ВД – у тексті; ЕБ – екологічна безпека;  
ЗЕ, Ін, ВМ, Мо – загальна екологія, інформатика, вища математика, моделювання; Фі, Хі, Бі, Гі, Ме, Гр, ЕМ, ТЕ, АЕ – фізика, хімія, біологія, гідрологія, метеорологія, ґрунтознавство, екологічний моніторинг, техноекологія, агроекологія

На рисунку 1.1.1 дисципліна САЯНС представлена у вигляді трьох блоків: СА – системний аналіз, Я – якість, НС – навколишнє середовище. Кожен з цих блоків базується на початкових знаннях, отриманих в бакалавраті при вивченні певних навчальних дисциплін. Зокрема, операції диференціювання і інтегрування утворюють основу спеціального розділу вищої математики – математичного аналізу. У навчальній дисципліні «Загальна екологія» при розгляді екологічних систем отримуються початкові знання з системного підходу. Крім указанного, блок СА базується на знаннях і уміннях, отриманих у бакалавраті при вивченні інших дисциплін, показаних на рисунку 1.1.1.

Блок Я має найменшу базу, бо питання якості взагалі і якості навколишнього середовища зокрема напряму в бакалавраті не вивчаються. Найближче до цієї теми підходить навчальна дисципліна «Екологічна безпека» в аспекті «якісне – неякісне». На рисунку 1.1.2 показана схема зв'язків між станом навколишнього середовища і його якістю.



**Рис. 1.1.2.** Стан і якість навколишнього середовища:  
Б – безпечний стан; Н – небезпечний стан; В – висока якість;  
С – середня якість; З – задовільна якість

Стан навколишнього середовища, що в дисципліні «Екологічна безпека» розглядається як безпечний або небезпечний, у САЯНС вивчається більш детально і має декілька (на рис. 1.1.2) (три) рівнів якості.

Третій блок дисципліни – НС – у бакалавраті розглянуто широко. Властивостями і показниками речовин різного походження і типу займаються фізика, хімія, гідрологія, метеорологія, ґрунтознавство. У біології живі організми вивчаються як об'єкти впливу факторів навколишнього середовища. Стан навколишнього середовища розглядається в багатьох навчальних дисциплінах, указаних на рисунку 1.1.1.

### **Контрольні запитання і завдання:**

1. Що є метою вивчення дисципліни САЯНС?
2. Вибрати з перелічених завдань навчальної дисципліни такі, зміст яких Вам зрозумілий.
3. Чим функціонально магістр відрізняється від бакалавра?
4. Назвати два функціональні напрями магістерської підготовки екологів.
5. Пояснити, в чому полягає первинна бакалаврська підготовка щодо забезпечення блоку СА дисципліни САЯНС.
6. Чи можна стверджувати, що дисципліна «Екологічна безпека» є базовою для САЯНС?

### **1.2. Історичний досвід дослідження взаємовідносин організмів та середовища існування**

- *передісторія наукової діяльності людей;*
- *актуальність проблеми інтеграції знань;*
- *класифікація сучасних наук;*
- *інтегровальна роль екології;*
- *структура екології як науки;*
- *визначення поняття «екологія».*

Зв'язок між поведінкою організмів та станом середовища їхнього існування люди помітили давно. У стародавній Індії в епічних поемах «Махабхарата» і «Рамаяна» (VI–IV століття до н. е.) виконано опис десятків тварин з аналізом середовища їх існування. Учень Аристотеля (Греція 300-ті роки до н. е.) Теофраст із Ересу написав трактати «Про значення рослин» та «Фізіологія рослин», у яких показав залежність особливостей рослин від клімату і типу ґрунту.

Англійський фізик і хімік Р. Бойль (1637–1691 рр.) виявив, що зниження тиску атмосферного повітря негативно впливає на процес дихання тварин. Ломоносов М. В. (1711–1765 рр.), у праці «О слоях земных», розглядав питання еволюції рослин і тварин.

У 1794 році Е. Дарвін (1731–1802 рр.) – дід Ч. Дарвіна – у роботі «Зоономія, чи Закони органічного життя» висунув гіпотезу поступового виникнення і вдосконалення тварин під зовнішнім впливом. Ж. Б. Ламарк у 1809 р. видав «Філософію зоології», у якій виклав свою теорію розвитку організму на основі пристосування до умов середовища. За два роки раніше О. Гумбольдт (1769–1859 рр.) в книзі «Про географію рослин» довів залежність розповсюдження рослин від кліматичних умов. У 1859 р. Ч. Дарвін (1809–1882 рр.) у роботі «Походже-

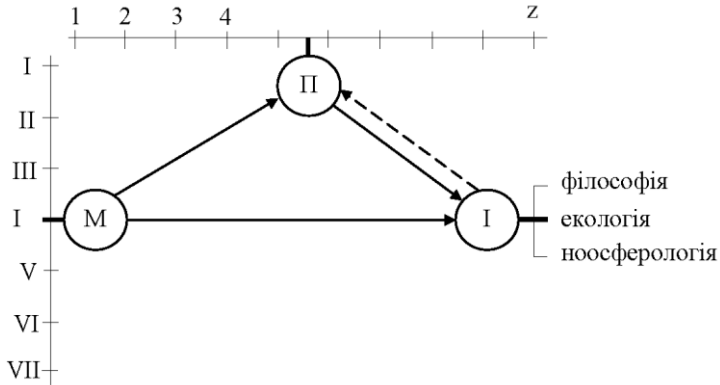
ння впливів шляхом природного добору або збереження благоприємних порід у боротьбі за життя» виклав основні положення теорії еволюції живої речовини. Сеченов І. М. у 1861 році писав «...організм без зовнішнього середовища, яке підтримує його існування, неможливий, тому в наукове визначення організму повинно входити і середовище...» (!).

Наведені приклади – лише невелика кількість підтверджень тієї уваги, яку приділяли природознавці-енциклопедисти проблемі впливу навколишнього середовища на життя організмів. Диференціація наук, що розпочалася в кінці XVIII століття, значно ускладнила вирішення проблеми: організмами займалися біологи, а абіотичним середовищем – географи. Не випадково майже одночасно в цих двох науках з'явилися розділи з новою назвою – екологічний. У 1858 році географ Г. Д. Торо в книзі «Життя в лісі» використав поняття «екологія» в розумінні «природознавство». А в 1866 році біолог Е. Геккель, відомий як співавтор так званого «основного біогенетичного закону» (онтогенез є коротким і швидким повторенням філогенезу) в книзі «Загальна морфологія організмів» увів термін «екологія» як відношення тварин до середовища і інших організмів. І сьогодні біологи вважають екологію розділом біології, а географи – підрозділом у розділі «Біогеографія». Офіційно термін було затверджено у 1910 році на 3-му Ботанічному конгресі у вигляді двох понять – аутоекологія – екологія рослини (особини) і – синекологія – екологія рослинних спільнот. У XX столітті, коли негативний вплив людської діяльності на стан навколишнього середовища став очевидним, представники галузевих наук зрозуміли свою причетність до цього явища і всі почали займатися «екологією». Сьогодні маємо велику кількість «екологій»: популяційна екологія, ландшафтна екологія, екологія людини, техноекологія, агроекологія, соціальна екологія, урбоекологія, екологія культури (академік Ліхачов Д. В.) та інші.

У цьому одна з причин, що незважаючи на наявність поняття «наука» (-логія, Logos) в назві дисципліни, «Екологія» сьогодні не має офіційного статусу науки. Є бакалавр, магістр, аспірант з екології, а кандидата і доктора наук з екології в класифікаторі ВАК не передбачено. Здобувачі вчених ступенів захищають дисертації з певних аспектів екології, перелічених вище, що дає можливість вирішувати деякі практичні задачі, але не впливає на розвиток цієї науки, перш за все – її теорії. Друга причина полягає в недостатній оперативності класифікації наук, яка не встигає реагувати на зміни в дуже динамічній науковій діяльності людства. Колись математика і фізика були так тісно пов'язані, що в класифікаторі утворено галузь фізико-математичних наук. Сьогодні без математики не може розвиватися жодна наука, а в класифікаторі вона залишається спорідненою лише з однією природничою наукою – фізикою.

## Системний аналіз якості навколишнього середовища

Наукова діяльність завжди мала за мету пізнання довкілля, але в процесі диференціації наук виявились напрями й іншої функції (рис. 1.2.1).



**Рис. 1.2.1.** Класифікація сучасних наук:

П – пізнавальні; М – методичні (інструментальні);

І – інтегрувальні (комплексні); 1 – фізика; 2 – хімія; 3 – біологія;

z – психологія; І – математика; П – кібернетика; Ш – педагогіка;

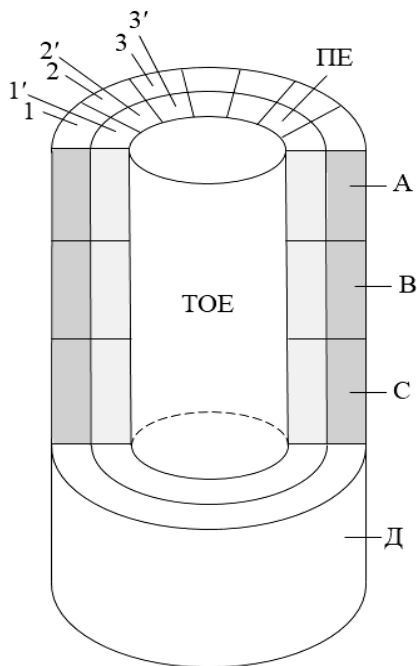
IV – системологія; V – логістика; VI – методологія; VII – синергетика.

За особливостями мети (функції) сучасні науки доцільно розподілити на три групи: пізнавальні, методичні (інструментальні) та інтегрувальні (комплексні). Перша група – найчисельніша – включає науки, що добувають нові знання про природу, людей та об'єкти, створені людською діяльністю. Науки другої групи не мають безпосереднього об'єкта пізнання – вони допомагають іншим наукам діяти більш ефективно, отримувати і використовувати нові знання швидше і якісніше. Інструментальні науки вдосконалюють методики пізнання і стимулюють інші науки до пошуку нових, більш глибоких знань про біосферу. Як видно на рисунку 1.2.1, інструментальні науки задовольняють потреби всіх інших наук.

Особливу функцію, конче необхідну в період вузької диференціації (спеціалізації) пізнавальних наук, виконують інтегрувальні науки, що узагальнюють основні досягнення пізнавальних наук, пов'язують їх відповідно до системних взаємозв'язків, утворюють загальну картину єдиного, нерозривного реального світу. У минулому, до початку активної диференціації, такі функції виконувала філософія, яка інтегрує знання на якісному рівні. До цієї групи наук належить і екологія – наука про системи біотичних і абіотичних компонентів, яка, на відміну від філософії, не обмежується теоретичними якісними

узагальненнями, а і продукує практичні рекомендації. До цієї групи треба включити і ноосферологію – науку Вернадського про майбутнє людство, яким за парадигмою «сталого розвитку» ООН воно має стати в ХХІ столітті. Різниця між екологією і ноосферологією полягає в об'єкті досліджень – для екології це в основному природа, точніше біосфера, а для ноосферології – це головним чином людина. Мета ноосферології – перетворення людини біосферної в ноосферну, гуманізація землян. Як видно на рисунку 1.2.1, між пізнавальними та інтегрувальними науками здійснюється взаємообмін – пізнавальні забезпечують потік нової інформації, а інтегрувальні, аналізуючи і ранжуючи її, підказують актуальні питання для першочергової розробки.

На рисунку 1.2.2 показано інтегрувальне положення екології в масиві наук.



**Рис. 1.2.2.** Місце екології в масиві наук:

А, В, С, Д – рівні об'єктів науки (макро, сукупність, ціле, частина цілого);

1, 2, 3...z – пізнавальні науки (ПН);

1', 2', 3'...z' – екологічні аспекти пізнавальних наук  
(прикладна екологія (ПЕ));

ТОЕ – теоретичні основи екології.

Рисунок 1.2.2 підкреслює такі принципові положення:

– з чотирьох рівнів об'єктів науки екологія займається рівнями А (біосфера, глобальні екологічні системи), В (локальні екологічні системи), С (компоненти екологічних систем). Рівень Д, який характеризує поглиблення досліджень у світ мікрочастинок, не входить у сферу діяльності екології. Це, по-перше, передбачено початковими умовами – «аутекологія» – рівень організму з середовищем його існування. По-друге, для виявлення основних знань про властивості об'єкта дослідження не потрібно занурюватися в деталі мікропроцесів – ці процеси виявляються у вигляді інтегрованих властивостей і показників цілого;

– екологія займає центральну частину циліндру наук на рівнях А, В і С у вигляді стрижня ТОЕ (теоретичні основи екології) і секторальної трубки ПЕ (прикладна екологія). Залежно від особливостей пізнавальної науки перехідний сектор від ТОЕ і ПЕ може бути або практичною екологією (агроекологія, урбоекологія, техноекологія тощо), або фундаментальним забезпеченням екології – це фізика, хімія, біологія і фізична географія;

– основу екології як науки представляє ТОЕ, масив, яким охоплюється теорія і методологія досліджень, зокрема, біосферні закони, екосистемологія, екологічні характеристики, екологічний моніторинг, моделювання екосистем, управління природокористуванням і якістю навколишнього середовища, прогнозування стану довкілля тощо;

– між ТОЕ і пізнавальними науками, що розташовані на периферійних ділянках циліндру наук, у секторах ПЕ, відбувається безперервний обмін інформацією, внаслідок якого, по-перше, ТОЕ збагачується новими знаннями, по-друге, ПН отримують рекомендації щодо актуальності досліджень і, останнє, практика отримує поради щодо покращення методів і технологій екологізації буття.

На завершення сформулюємо визначення екології як науки.

**Екологія** – це природничо-суспільна комплексна наука, яка, інтегруючи та доповнюючи головні досягнення пізнавальних наук, поглиблює знання про взаємовплив косної і живої матерії з метою гармонізації взаємовідносин між людиною і природою.

### ***Контрольні запитання і завдання:***

1. Хто і коли вперше почав вивчати вплив особливостей навколишнього середовища на життя організмів?
2. Пояснити причини диференціації наук.
3. У чому недоліки диференціації наук?
4. Обґрунтувати важливість класифікації наук за цільовою ознакою.
5. Чому на рисунку 1.2.1 тільки один зв'язок із чотирьох зображено пунктиром?

6. Перелічити питання, що розглядаються на рівні Д (рис. 1.2.2) у біології (фізиці).

7. Чому в екології, як науці, відчутний рівень Д?

8. Які екологічні питання можуть вирішувати галузеві фахівці, а які лише фахівці-екологи?

9. Обґрунтувати, чому питання оцінки стану навколишнього середовища є одним з основних в ТОЕ?

### **1.3. Особливості ключових понять дисципліни**

- *коротко анотований перелік ключових понять;*
- *загальносистемні положення;*
- *тлумачення поняття «аналіз»;*
- *дуалізм системного аналізу;*
- *конкретизація поняття «навколишнє середовище».*

Як показано в таблиці 1.1.1 **ключовими поняттями** САЯНС є:

– *система* (грец. systema – складене з частин; сполучення) – (використовується у філософії, техніці, науці) – сукупність компонентів, що знаходяться у відношеннях і зв'язках між собою й утворюють певну цілісність, єдність;

– *аналіз* (грец. analysis – розклад) – (філософія, техніка, наука) – метод фактичного чи віртуального розкладу цілого на складові частини;

– *системний аналіз* – (філософія, техніка, наука) – сукупність методів і засобів, що використовуються при дослідженні і створенні складних об'єктів. Теоретичну і методологічну основу системного аналізу складають системний підхід і загальна теорія систем;

– *якість* – (філософія, техніка, побут) – категорія, що характеризує суттєву відмінність предметів і явищ від інших. Вона пов'язана з предметом, як з цілим і не зводиться до окремої його властивості. Часто якість розглядається як складна (інтегрована) властивість;

– *середовище* – (техніка, наука, побут) – сфера; речовина, що заповнює простір; життєві умови;

– *навколишнє середовище* – (техніка, наука, побут) – довкілля; оточення; сукупність компонентів живого і абіотичного походження, що оточують об'єкт дослідження і впливають на його життєдіяльність.

Наукова діяльність людей здійснюється за допомогою різноманітних заходів, правил, методів, підходів. У XVII–XIX ст. панівною була концепція механіцизму – розвиток природи і суспільства намагалися пояснити законами механічної форми руху матерії, тобто ньютонівськими поглядами. У XX ст. на зміну механіцизму прийшов **системний підхід**, основи якого були закладені ще в стародавні часи.



Платон, Аристотель та інші показували, що ціле, сукупність являє собою щось більш складне, ніж проста сума його частин. Сучасна практика створення складних технічних споруд та необхідність управляти великими колективами вимагали від науки розробки нових методів. Так, у середині минулого століття сформувався науково-методологічний напрям «системологія».

Системний підхід спрямований на науково упорядковане спрощення хаотичного складного, на виявлення різноманітних типів зв'язків об'єкта і зведення їх в єдину теоретичну картину. Це методологічний напрям у науці, де об'єкт аналізу розглядається як певна множина елементів, взаємозв'язок яких обумовлює цілісні властивості цієї множини. Виявляються зв'язки і відношення як у середині об'єкта, так і взаємовідносини з навколишнім середовищем. Суттєвим є виявлення вірогіднісного характеру поведінки об'єктів. Системний підхід означає не лише розгляд об'єкта, а і процес дослідження як складну систему об'єднання в єдине ціле різних моделей об'єкта.

**Загальна теорія систем** – спеціально-наукова і логіко-методологічна концепція дослідження об'єктів, розроблена в працях Богданова, Берталанфі, Месаровича, Урманцева і інших. З. т. с. не підміняє спеціальні теорії і концепції, що використовуються в конкретних науках, як, наприклад, екосистемологія при дослідженні екологічних систем. Будь-яка система характеризується структурою і комплексом властивостей.

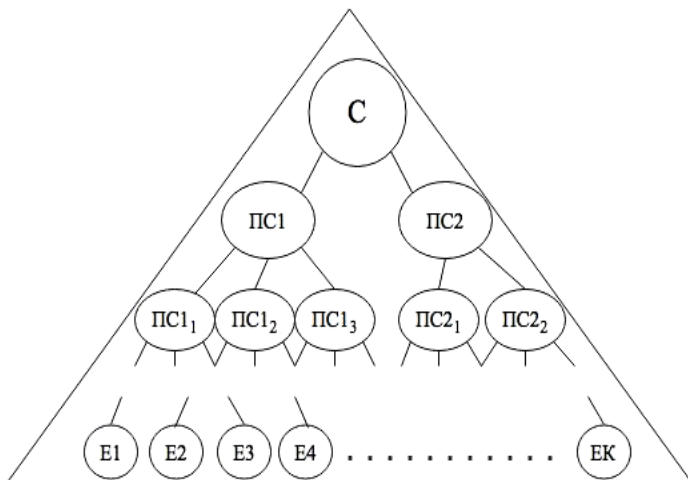
*Структура* (лат. *structura* – будівля) – побудова і внутрішня форма організації системи. Це складові, їхнє взаєморозташування, взаємозв'язки між складовими.

Властивість – категорія, що характеризує фізичну, хімічну, біологічну чи комплексну відмінність об'єкта від інших. Кількісно властивість оцінюється за допомогою показника (-ів).

Будь-яка система має багато властивостей, головними з яких є такі: цілісність, ієрархічність, функціональність, самоорганізованість, відкритість, продуктивність, емерджентність.

*Цілісність* системи означає певну відокремленість її від інших, замкненість сукупності складових, що тісно взаємопов'язані між собою і кожна з яких фундаментально необхідна. Цілісність визначає кордони системи у просторі.

*Ієрархічність* (багаторівневість) системи характеризує її морфологію і поведінку – окремі рівні обумовлюють певні аспекти її поведінки, а цілісне функціонування є результатом взаємодії всіх рівнів. Кожна система є сукупністю складових нижчого рівня – підсистем, і у свою чергу є однією з частин системи вищого рівня – надсистеми, а та теж є лише частиною вище розташованого. Схематично ієрархічність системи представляється у вигляді «ієрархічного трикутника» (рис. 1.3.1).



**Рис. 1.3.1.** Ієрархічний трикутник системи  
С – система; ПС1, ПС2 – підсистеми першого рівня;  
індекс 1, 2, 3 – номер підсистеми другого рівня; Е – елемент системи.

На найнижчому рівні трикутника розташовані «елементи» – найдрібніші складові системи – найменші функціональні і структурні одиниці системи, які не можна далі ділити без руйнування.

*Функціональність* (цілеспрямованість) системи визначає мету (ціль, функцію) існування системи. Функціональність системи забезпечується «сукупністю» функціональностей підсистем та інших компонентів системи.

*Самоорганізованість* (кібернетичність) системи – її властивість протистояти зовнішньому впливу, який намагається вивести систему зі стану динамічної рівноваги.

*Відкритість* системи характеризує її залежність від зв'язків із навколишнім середовищем. Не буває закритих, тобто абсолютно ізольованих (самодостатніх, самозабезпечених) систем.

*Продуктивність* системи визначається кількістю певної продукції, яку виробляє система відповідно до функціональності.

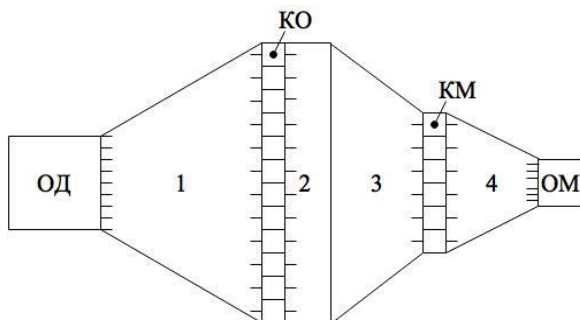
*Емерджентність* системи характеризує здатність отримувати (формувати) нові властивості, яких не було в підсистемі. Тобто, будь-яка система має дві групи властивостей – спадкові, що перейшли від складових підсистем і емерджентні, притаманні лише системі.

Будь-яка система може розглядатися як компонент системи більш високого ієрархічного рівня, а її елемент у свою чергу може виступати як система більш низького рівня.

Системи класифікуються за різними ознаками і бувають матеріальними, соціальними і абстрактними.

**Аналіз** як науковий метод полягає в дослідженні цілого (системи) шляхом вивчення його складових (компонентів системи), або пізнання об'єкта дослідження через розгляд окремих його властивостей. Аналіз широко використовується в усіх галузях науки і техніки при вирішенні актуальних проблем, зокрема для визначення ризику. Згідно з документом Американської Асоціації Інженерних товариств (ААІТ) «Аналіз ризику. Процеси та застосування» процедура аналізу складається з трьох операцій: оцінки, управління, комунікабельності.

У практичній науковій діяльності «аналіз» нерозривно пов'язаний з протилежним за змістом «синтезом» – утворенням цілого з частин. Тому в філософії вони розглядаються разом – «аналіз і синтез». На рисунку 1.3.2 показана схема дій під час дослідження будь-якого об'єкта, з якої є очевидною причина нерозривності процесу «аналіз – синтез», а саме – дія «3» – спрощення структури об'єкта – виконується шляхом одночасного використання обох наукових методів – синтезу і аналізу. Спрощення структури об'єкта полягає в ранжуванні КО, у нехтуванні маловпливових зв'язків, у врахуванні похибки внаслідок недостатності інформації тощо.



**Рис. 1.3.2. Схема дослідження об'єкта:**

ОД – об'єкт дослідження; ОМ – образ об'єкта (модель);

КО – компоненти об'єкта; КМ – компоненти моделі;

1 – декомпозиція (розподіл, розчленування) об'єкта;

2 – вивчення компонентів об'єкта; 3 – спрощення структури об'єкта;

4 – синтез образу об'єкта.

Самостійний зміст термін «аналіз» отримав у математиці у вигляді розділу «математичний аналіз», основою якого є операції диференціювання і інтегрування.

**Системний аналіз** – сукупність методів і засобів, що використовують під час дослідження складних об'єктів, перш за все для визначення управлінських рішень. Теоретичну і методологічну основу системного аналізу складають системний підхід і загальна теорія систем.

**Дуалізм** системного аналізу полягає в наступному:

- аналізується об'єкт як система;
- під час аналізу використовується системна методологія.

Поняття «**навколишнє середовище**» має необмежений діапазон і залежить, перш за все, від особливостей об'єкта, який функціонує в цьому середовищі. У риби своє навколишнє середовище, у дерева – інше. Є навколишнє середовище у людини, а є й у підприємства, у будівлі. Розглянути все різноманіття неможливо. Тому визначимося з переліком об'єктів, урахувуючи особливості навчальної дисципліни і загальнолюдські пріоритети. По-перше, це людина. Її навколишнє середовище дуже складне і різноманітне: матеріальне і нематеріальне, природне і штучне, глобальне і локальне, регульоване і нерегульоване тощо. По-друге, це компоненти природних екосистем. Домовимося розглядати лише навколишнє середовище біотичних компонентів – окремих організмів, популяцій, видів рослин і тварин.

Незважаючи на вказані обмеження, поняття «навколишнє середовище» має широкий діапазон – від загального водного (наземного, ґрунтового тощо) середовища існування певних видів організмів до локального (індивідуального) середовища, що контактено оточує конкретний організм. Недарма класики природознавства вказували на провідну роль біоти в утворенні і стані косної матерії. Зокрема, за Вернадським, саме жива речовина є основною рушійною силою в біосферній міграції хімічних елементів. Сеченов І. М. вважав, що в наукове визначення організму має входити і зовнішнє середовище, яке підтримує його існування. Сукачов В. М., досліджуючи дерева, показав наявність впливу на довкілля навіть окремих органів організму. Для лісу це ярусність дерева, кожен ярус якого утворює окремі матеріально-енергетичні системи.

Чимало тварин для покращення умов існування створюють штучну ойкументу – дупла, берлогу, хатку, гнізда, нору, термітник тощо – де й забезпечується певне навколишнє середовище.

У подальшому будемо розглядати поняття «навколишнє середовище» залежно від впливу організму на нього:

- загальне, що входить за межі індивідуального впливу організму;
- індивідуальне, що оточує організм і залежить від нього. Таким «навколишнім середовищем» зокрема, є ойкументне та ярусове навколишнє середовище.

### ***Контрольні запитання і завдання:***

1. Перелічити ключові слова дисципліни.
2. Перелічити ключові словосполучення дисципліни.

3. Що таке «система»?
4. Що таке «структура системи»?
5. Як визначити кордони системи?
6. Перелічити властивості системи.
7. Навести реальний приклад використання рисунка 1.5.
8. Дати визначення поняттю «ойкументне навколишнє середовище».
9. Що таке «загальне навколишнє середовище»?

### **1.4. Основи екосистемології**

- *поняття «екологічна система»;*
- *ознаки екологічної системи за Голубцем М. А.;*
- *роль Вернадського В. І. у розвитку уявлень про екосистему;*
- *структура природної екосистеми;*
- *зв'язки в природній екосистемі;*
- *основні властивості екологічних систем;*
- *класифікація природних екологічних систем.*

**Поняття** «екологічна система» вперше використав А. Тенслі (Великобританія) у 1935 році – «рослинне угруповання трактоване як система, що включає не лише рослини, які його утворюють, але і тварини, існування яких пов'язане з наявністю цих рослин, а також усі фізичні і хімічні компоненти безпосереднього оточення чи проживання, які разом утворюють замкнену (самостійну) цілісність». Трохи пізніше (1942 р.) Р. Ліндеман визначив екосистему як систему фізико-хіміко-біологічних процесів, що відбуваються в межах певної просторово-часової одиниці будь-якого рангу. Тобто маємо два принципово різні погляди на екологічну систему – або сукупність матеріальних компонентів, або сукупність процесів.

Нині запропоновано декілька визначень, що об'єднують вказані два підходи. Так, Реймерс М. Ф. вказує, що це будь-яка відносно стала в просторі й часі спільнота живих істот і середовище існування, в поєднанні в єдине функціональне ціле, яке виникло на основі взаємозалежності і причинно-наслідкових зв'язків між окремими екологічними компонентами. Відомий американський еколог Ю. Одум екосистемою вважає будь-яку одиницю, яка містить усі організми, що сумісно функціонують на певній ділянці і взаємодіють з фізичним середовищем таким чином, що потік енергії створює чітко визначені біотичні структури і коло обіг речовин між живою і неживою частинами.

Відомий вітчизняний еколог **Голубець М. А.** вважає, що визначити поняття «екологічна система» однією фразою складно, бо вона повинна містити багато ознак, зокрема такі:

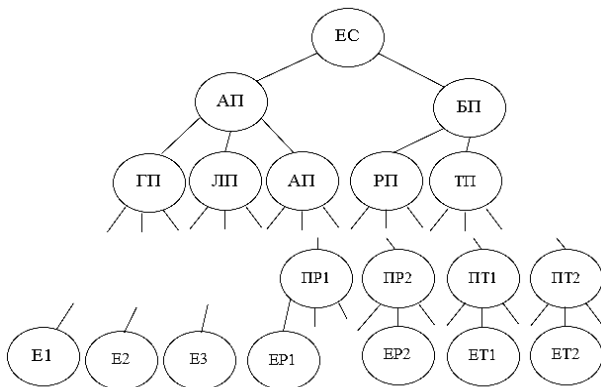
- будь-яких розмірів система, будова і рівень організації якої забезпечують її тривале самопідтримання, матеріально-енергетичну трансформацію та біотичний колообіг;
- термодинамічно відкрита (джерело енергії – Сонце знаходиться за межами екосистеми);
- взаємопов'язана з сусідніми екосистемами (між ними відбувається постійний речовинно-енергетичний обмін, який забезпечує цілісність півки життя на Землі);
- відносно стійка до зовнішніх збуджень, стабільна в часі, в природному стані самоорганізована і саморегульована (кібернетична);
- жива (біотична, організована живою речовиною);
- неентропійна (величина її ентропії завжди менша від ентропії абіотичного довкілля);
- природна чи створена людиною функціональна система сукупності живих істот, пов'язаних між собою таким чином, що потік енергії, який проходить через цю систему, сприяє створенню відповідної трофічної структури та ланцюгів, підтриманню відповідної різноманітності, біологічного кругообігу та накопиченню вільної енергії.

Додатково до переліченого додамо декілька ознак:

- завершеність циклу «неживе → живе → неживе»;
- наявність декількох популяцій організмів;
- наявність повного набору абіотичних компонентів, необхідних для тривалого життя.

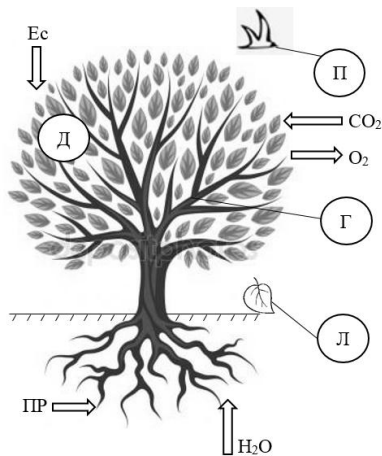
Засновником теорії екологічних систем слід вважати видатного природознавця і філософа **Вернадського В. І.** Саме він, не використовуючи термін «екосистема», розробив на початку ХХ ст. вчення про біосферу, яка вважається глобальною екосистемою. Вернадський В. І. довів провідну роль біоти (живої речовини) в біогеохімічних процесах, що утворюють глобальні і локальні колообіги речовин і рухи енергії. Він показав кібернетичність біосфери, її спроможність до самовдосконалення, зокрема, шляхом створення кисневої атмосфери, озонового прошарку, наземного ґрунту та ін.

На рисунках 1.4.1 та 1.4.2 показані два види **схеми** екологічної системи з багатьох можливих.



**Рис. 1.4.1.** Структурно-ієрархічна схема екологічної системи:  
 ЕС – екологічна система; АП і БП – абіотична і біотична підсистеми;  
 ГП, ЛП, АП – гідро-, літо-, атмосфера;  
 РП і ТП – рослинні і тваринні популяції; Е – абіотичні елементи;  
 ЕР – рослина; ЕТ – тварина

Як видно на рисунку 1.4.1 в екологічній системі найдрібнішою складовою, тобто елементом, є живий організм, або абіотичний компонент – речовина. Будь-який організм поєднується чисельними функціональними (речовинними, енергетичними і інформаційними) зв'язками з абіотичним середовищем і біотичними «сусідами». На рисунку 1.4.2 представлені деякі з цих зв'язків у найпростішій екологічній системі.



**Рис. 1.4.2.** Функціональні зв'язки в екологічній системі «дерево»:  
 Д – дерево; Г – гусениця; П – птах; Л – листок; ЕС – енергія Сонця;  
 O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> – газові атмосферні зв'язки; ЛП – поживні речовини; H<sub>2</sub>O – волога

На схемі не показані біотичні зв'язки між деревом, гусеницею і птахом, а також інформаційні зв'язки між деревом і навколишнім середовищем. Речовинні і енергетичні зв'язки дерева описуються рівнянням фотосинтезу та окремих процесів – випаровування, капілярного руху тощо.

Більш докладно питання зв'язків в екосистемі розглянуто пізніше в спеціальному розділі.

У розділі 1.3 вказувалося на пропозицію І. М. Сеченова розглядати організм не ізольовано, а разом з його навколишнім середовищем. Ця ідея реалізована в роботах О. О. Корчагіна і М. А. Голубця, в яких сукупність «організм – середовище» представлена у вигляді системи «індивідуальна консорція», яка розглядається як елементарна функціональна одиниця, тобто є елементом екосистеми. Угрупування індивідуальних консорцій утворюють наступний рівень екологічної системи – популяційний. При такому представленні в структурно-ієрархічну схему екосистеми абіотичні компоненти слід розділяти на два види – індивідуальні і загальні.

Екологічні системи мають такі **властивості**:

- продуктивність, яка складається з первинної продуктивності рослин та вторинної продуктивності тварин;
- енергоспроможність – здатність сприймати, використовувати, зберігати і виробляти енергію;
- самоорганізованість (саморегуляція, кібернетичність) – здатність протистояти зовнішнім впливам шляхом перебудови для зменшення наслідків цих впливів;
- емерджентність, яка полягає в збільшенні можливостей кожного наступного ієрархічного рівня системи внаслідок додавання до спадкових властивостей нових – емерджентних;
- біорізноманітність, яка визначається кількістю видів рослин (тварин) в екосистемі і кількістю особин кожного виду;
- динамізм (пластичність) – зміни системи під впливом зовнішніх сил і внутрішніх протиріч без втрати нею функціональності.

**Класифікації** екологічних систем різноманітні і виконуються різними дослідниками за багатьма ознаками. М. А. Голубець розглядає класифікацію у вигляді матриці, по вертикалі якої екосистеми розташовані за ієрархією, а по горизонталі – у вигляді рядів таксонометричних одиниць, у якості яких прийняті такі: енергетичний, типологічний, біогеохімічний, господарський, урбаністичний, кібернетичний та інші. Перелік свідчить про необхідність під час класифікації екологічної системи враховувати не лише природні особливості, а й характер людського впливу на систему. Щодо ієрархічних таксонів, то доцільно їх представити у такому вигляді:



## ***Системний аналіз якості навколишнього середовища***

– біосфера – глобальна екологічна система – плівка життя Землі. Людство як одна зі складових живої речовини в особливій – соціальній – формі розвивається разом із біосферою, відчутно впливаючи на неї;

– субстратні – дві складові біосфери: Світовий океан – глобальна водна екосистема і глобальна наземна екосистема – суша (суша поверхні материків);

– зональні – крупні природні фізико-географічні зони субстратних систем: окремі океани, материки;

– біомні – частини зональних. Ю. Одум виділив 9 наземних біомів (тундра, бореальні ліси, степ помірної зони, савани, пустелі тощо) три прісноводні біоми (стоячі води озера і ставки, проточні води, заболочені угіддя) та 4 морських біоми (відкритий океан, прибережні води, акваторії, бухти, гирла рік тощо, райони апвелінгу);

– крайні екосистеми – це гори, рівнини, лісові масиви типу тайги тощо;

– провінційні екосистеми характеризуються особливостями окремих частин крайніх систем за надходженням сонячної радіації, атмосферних опадів, структури ґрунту, темпах речовинних колообігів або за глибиною антропогенних перетворень. У межах України виділяють 12 провінційних екосистем: Поліську, Дністровсько-Дніпровську, лісостепову та інші;

– ландшафтні – це частини провінційної екосистеми, що різняться генетичними, історичними, антропогенними та іншими особливостями;

– парцелярні (або парцели) – найменші територіально обмежені в рамках ландшафтної екосистеми;

– консорційні (або консорції) – це елементарні екологічні системи з ядром (центром), що об'єднує усі компоненти. Прикладом консорції є окреме дерево в степу, навколо якого групуються птахи, комахи, миші, черв'яки, трава тощо (рис. 1.4.2).

Розподіл екосистем за таксонометричними ознаками дуже різноманітний. Вкажемо лише на пропозицію Ю. Одума класифікувати системи за кількістю енергії, що надходить, на чотири типи:

– природні несубсидовані, що одержують енергію тільки від Сонця;

– природні субсидовані, що окрім сонячної енергії отримують енергію інших джерел, як, наприклад, естуарії з надходженням енергії річки;

– природно-штучні, наприклад агроекосистеми, які існують за рахунок сонячної енергії та антропогенної субсидії;

– індустріально-міські екосистеми, які існують головним чином за рахунок енергії палива. Вони отримують  $(0,1 \dots 3,0) \cdot 10^6$  ккал/м<sup>2</sup>·рік, що

в сотні і навіть тисячі разів перевищує енергозабезпеченість систем природних несубсидованих і в десятки разів більше, ніж отримують системи другого і третього типів.

Крім указаної класифікації, М. А. Голубець розрізняє екосистеми корінні і похідні, повночленні і неповночленні, стійкі і нестійкі (лабільні). За впливом людини на особливості екосистем можна привести таку класифікацію: природні, природні антропогенно змінені (мало- і слабозмінені), антропогенні (культурні – поселення, водосховище, рекультивована земля чи порушені – кар'єри, торфорозробки, терикони тощо).

На завершення теми сформулюємо визначення поняття «**екологічна система**»: це відносно стала у просторі і часі сукупність організмів та середовища їх існування, поєднаних у функціональне ціле і взаємопов'язаних колообігами речовин та потоками енергії та інформації.

#### ***Контрольні запитання і завдання:***

1. Записати власне визначення поняття «екологічна система».
2. Чому Вернадського В. І. слід вважати одним з перших еко-системологів?
3. Запропонувати структурно-ієрархічну схему екологічної системи, відмінну від показаної на рисунку 1.4.1.
4. Навести приклад функціональних зв'язків в екосистемі (аналогічно рис. 1.4.2).
5. Перелічити властивості екологічних систем.
6. Розробити матрицю класифікації екологічних систем на базі пропозиції Голубця М. А.
7. Представити структурно-ієрархічну схему екосистеми на базі «індивідуальних консорцій».

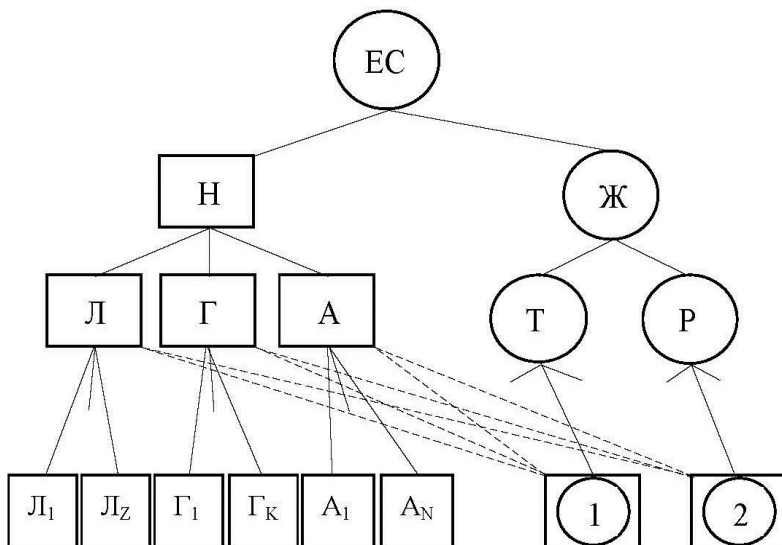
#### **1.5. Особливості індивідуальних консорцій та соціоекосистем**

- *сутність індивідуальної консорції;*
- *схема консорційної екосистеми;*
- *антропогенна деформація «дикої природи»;*
- *сутність соціально-екологічної системи;*
- *особливості структурно-ієрархічної схеми соціоекосистеми.*

Як було зазначено в підрозділі 1.2, видатний вчений Сеченов І. М. вважав настільки тісними зв'язки між організмами і середовищем, що це потребує врахування на понятійному рівні. Нині ж ця думка знайшла втілення у вигляді «індивідуальної консорції» (Корчагін О. О., Голубець М. А., Флейшман Б. С.) – елементарної екологічної системи, яка має свої просторові й функціональні параметри. Як буде показано пізніше, використання неповної екологічної мікросистеми у вигляді індивідуальної консорції дозволяє плідно вирішувати значну кількість завдань з оцінки якості навколишнього середовища.

На рисунку 1.5.1 представлена структурно-ієрархічна схема консорційної екологічної системи, з індивідуальними консорціями рослин і тварин (а), та соціоекосистеми (б).

а)



**Рис. 1.5.1. а.** Структурно-ієрархічна схема консорційної екологічної системи:

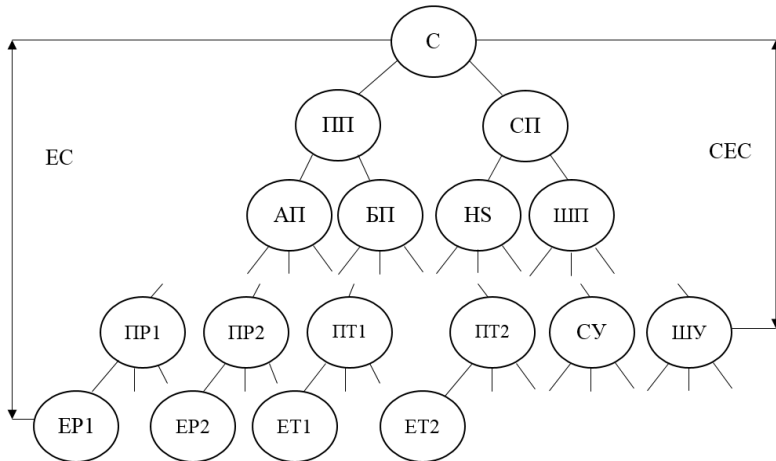
ЕС – екологічна система;

Н і Ж – нежива і жива речовина; Т і Р – тварина і рослина;

Л<sub>1</sub>...Л<sub>2</sub>, Г<sub>1</sub>...Г<sub>к</sub>, А<sub>1</sub>...А<sub>Н</sub> – компоненти макросфер;

інше – у тексті

б)



**Рис. 1.5.1. 6.** Структурно-ієрархічна схема соціоекосистеми:  
 С – система; АП – абіотична підсистема; БП – біотична підсистема;  
 ПР – угруповання рослин; ПТ – популяції тварин; ЕР – рослина;  
 ЕТ – тварина; ПП і СП – природна і штучна підсистеми;  
 НС і ШП – підсистеми Номо і штучна;  
 СУ і ШУ – угруповання соціальні і штучні

Особливістю схеми є розділення біотичних компонентів на дві частини – основна маса літо-, гідро- і атмосферних компонентів зосереджена у відповідних макросферах (Л, Г, А), а деяка частина, що являє безпосереднє контактне середовище функціонування організму – у рослинній і тваринній індивідуальних консорціях 1 і 2.

**Антропогенна діяльність**, яка почала стрімко зростати після індустріальної революції (початок ХХ ст.) і досягла екстремуму в кінці демографічного вибуху (1985 р.), має локальний характер: будівництво підприємств, дорог, поселень; забруднення повітря і водних об’єктів; вилов риби і вирубка лісу – все це місцевий вплив на конкретну природну екологічну систему, антропогенна її деформація. Разом з тим, завдяки природним колообіговим процесам цей локальний вплив розповсюдився в просторі і з часом охопив всю біосферу. Тому сьогодні практично неможливо знайти «куточки дикої природи». Можна лише умовно вважати абсолютно природними деякі екологічні системи в приполярних, острівних, тропічних, пустельних, океанічних та їм подібних регіонах.

Антропогенний вплив на екологічні системи в підрозділі 1.4. враховувався під час класифікації систем. Не деталізуючи це питання, розглянемо особливості структури zdeформованої системи. Очевидно, що більшість компонентів первинної «дикої» екосистеми залишаються і до них додаються нові – люди та наслідки їхньої діяльності: будівлі, дороги, підприємства, транспорт тощо. Тобто екологічна система ускладнюється: її структура розширюється, в ній з'являється нова, спеціальна частина, значно збільшується число зв'язків між компонентами системи. Будемо називати таку ускладнену систему **соціоекологічною (СЕС)**.

При розробці **структурно-ієрархічної** схеми СЕС перш за все необхідно враховувати дуалістичну сутність людини. З одного боку людина – це організм біологічного типу з усіма властивостями тварини. З іншого боку – ця тварина є невід'ємною частиною соціальних утворень і її поведінка диктується не скільки біологічними законами, скільки соціальними. Тому в системі розглядати окремих індивідів не треба, елементом СЕС є не окремих організм, а соціальне об'єднання – сім'я, колектив, угруповання людей. У зв'язку з цим принциповою відмінністю СЕС від екологічної системи (ЕС) є відсутність організмів рівня (рис. 1.5.1 (б)). Значна кількість компонентів СЕС поєднані не лише матеріальними, а й віртуальними зв'язками.

### **Контрольні запитання і завдання:**

1. Що таке «індивідуальна консорція»?
2. Чим на рисунку 1.5.1 (а) графічне зображення консорції відрізняється від зображень інших компонентів екосистеми?
3. У якій системі – екологічній чи соціоекологічній – більше ієрархічних рівнів і чому?
4. Які з перелічених в п. 1.3. екологічних систем вважають соціоекологічними?
5. Записати визначення поняття «соціально-екологічна система».
6. Ускладнити рисунок 1.4.2 людським впливом.

### **1.6. Методи системного аналізу**

- *дуалізм системного аналізу в контексті САЯНС;*
- *мета функціонування екологічної системи;*
- *різноманіття методів системного аналізу;*
- *сутність методу суперечності;*

- використання матричного методу суперечності в екосистемі і соціоекосистемі;
- статистично-порівняльний метод;
- інші методи;
- системне правило Ю. Одума.

**Дуалізм** (подвійність) системного аналізу в контексті САЯНС полягає в наступному. По-перше, об'єкт дослідження представляється у вигляді системи (ЕС або СЕС). По-друге, методикою дослідження є аналіз як складова системи дій (рис. 1.3.2). Таким чином, пізнання об'єкта є сполучення двох процесів – розкладу системи на компоненти і створення образу об'єкта шляхом визначення властивостей складових з урахуванням взаємозв'язків між компонентами системи. Суттєве значення в системному аналізі має вірогіднісний характер поведінки як суб'єктів, так і об'єктів дослідження.

Системний аналіз слід визнати найбільш ефективним, чи не єдино обґрунтованим, підходом при вивченні таких складних систем, якими є екологічні та соціоекологічні системи.

Ключовими поняттями в системному аналізі є **мета (ціль)** функціонування системи, яка забезпечується шляхом досягнення цілей окремих її компонентів. Для екологічних систем конкретна мета залежить від ієрархічного рівня ЕС та СЕС. Якщо для біосфери ціль глобальна – вдосконалення живої речовини, то для будь-якої ЕС це більш скромна мета – забезпечення (чи навіть збереження) біорізноманіття на певній території. У системному аналізі розглядаються такі цілі: віддалені, близькі, безпосередні, загальні і часткові, проміжні і кінцеві.

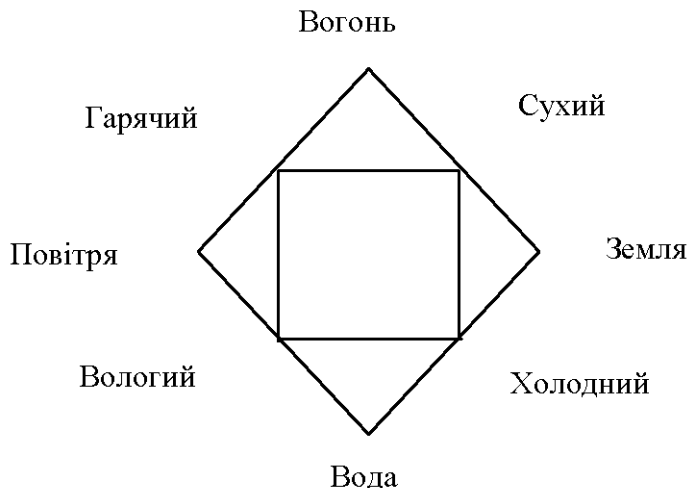
Особливо важливу роль поняття «ціль» відіграє в СЕС, розвиток яких значною мірою залежить від цілеспрямованої людської діяльності. Для таких систем принциповим є так званий «зворотний зв'язок», за допомогою якого контролюється ефективність дій.

Практична реалізація системного аналізу здійснюється шляхом використання **багатьох наукових методів**, зокрема методу суперечностей, матриць, порівнянь, статистичний, експертної оцінки.

Тут доречно зробити принципове зауваження. У практиці людського буття частіше, ніж системні, використовуються більш прості наукові методи. Зокрема, це метод спроб і помилок (метод «тику»), яким керувалися масово в давні часи і керуються зараз більшість політиків, інженерів, економістів та фахівців інших професій.

Метод **суперечностей** (конкуренції, протиставлення) почали використовувати ще на зорі наукової діяльності. В основі уявлення

Аристотеля про Всесвіт покладено чотири елементи, кожному з яких притаманні дві властивості із чотирьох: земля (холодна і суха), повітря (гаряче і вологе), вода (холодна і волога), вогонь (гарячий і сухий). Вони могли перетворюватись в колообіговій послідовності (рис. 1.6.1). Пізніше (XI ст.) М. Пселл запропонував «квадрат логічний».



**Рис. 1.6.1.** Уявлення Аристотеля про елементи та їх властивості

Камерон К. і Куїнн Р. пропонують рамкову конструкцію цінностей, що конкурують, для виявлення підходів до створення проекту організації і визначення етапів її розвитку, організації якості, стилів лідерства, типів управління тощо. Мещанінов О. П. розробив систему критеріїв оцінки управління сталого розвитку університетської освіти, що базується на таких цінностях, що конкурують: контроль – гнучкість; зовнішній – внутрішній; автономія – монополія; консерватизм – синергізм; гнучкість – еспансивізм.

Грегорі Х. Еплет використав метод суперечностей для оцінки впливу людської діяльності на природне середовище. Він оцінював незайманість («дикість») природної екосистеми за двома показниками: природність і свобода (саморегульованість), а антропогенний вплив – через штучне в системі та її контрольованість ззовні (рис. 1.6.2).



**Рис. 1.6.2.** Системи екологічні  
(А – «дика природа»; В – штучна екосистема)

Аналіз досвіду використання методу суперечностей свідчить про його значні потенційні можливості. У найпростішому варіанті, наприклад, у «кантуумі дикої природи» Еплета (рис.1.6.2) зіставляються дві системи, протилежні за походженням і кібернетичністю. З чотирьох квадрантів, утворених двома вісями – «склад системи-регулювання», використовуються два – верхній правий відповідає природній системі (0-+1,0 – А-+1,0), а нижній лівий – штучній (0- -1,0 – В - -1,0). Більшість реальних систем займають проміжні положення. Наприклад, на рисунку 1.6.2 прямокутник МЕС відповідає малозміненій ЕС, а прямокутник КЕС – культурній антропогенно-зміненій ЕС.

Метод суперечностей дозволяє виконати оцінку екосистеми на кількісному рівні шляхом зіставлення, площа прямокутника залежно від його положення в системі координат «х-у».

У якості показників можуть використовуватись не лише як показано на рисунку 1.6.2 «склад-регулювання», а будь-які, наприклад, енергоздатність, вологозабезпеченість, залежність від зовнішніх надходжень поживних речовин тощо. Важливо, що при **аналізі СЕС** є можливість враховувати нематеріальні показники системи (табл 1.6.1 і 1.6.2).



*Таблиця 1.6.1*

**Дані для аналізу духовності людини**

№	Визначальна риса (властивість)		Показник властивості	
	х	у	(+)	(-)
1	толерантність	-	доброта	злість
2	-	соціальність	колективізм	егоїзм
3	толерантність	-	незаздрість	заздрість
4	толерантність	-	нежадібність	жадоба
5	-	соціальність	бережливість	марнотратність
6	-	соціальність	ентузіазм	байдужість
7	толерантність	-	відкритість	підступність
8	толерантність	-	спокійність	дратованість
9	-	соціальність	витримка	нетерплячість
10	толерантність	-	оптимізм	песимізм
11	-	соціальність	хоробрість	боягузтво
12	-	соціальність	об'єктивність	суб'єктивність

*Таблиця 1.6.2*

**Показники соціальної справедливості суспільства**

Визначальна риса (властивість)		Показник властивості	
х	у	(+)	(-)
моральність	-	самообмеженість	розкіш
-	відповідальність	законність	безправ'я
моральність	-	гуманізм	насилство
-	відповідальність	демократизм	авторитаризм
моральність	-	миролюбство	агресивність
-	відповідальність	діяльність	експлуатація
-	відповідальність	освіченість	неуцтво
моральність	-	культурність	безкультур'я

Під час аналізу екологічних і соціоекологічних систем часто використовують **матричний метод**. У таблиці 1.6.3 для прикладу показано матрицю зв'язків між ссавцями через кліщів (за Голубцем М. А.).

*Таблиця 1.6.3*

**Кількість біологічних зв'язків в екосистемі**

вид ссавця	1	2	3	4-11	12
Ондатра		25	15		13
Водяна полівка	25		14		12
Економка	15	14			12
Бурозубка	13	12	12		

Для офіційної оцінки і ранжування СЕС адміністративних об'єктів використовують **статистично-порівняльний метод** (табл. 1.6.4).

*Таблиця 1.6.4*

**Статистичні дані**

Адміністративна одиниця	Оціночний показник П і його значення З			
	П1	П2		ПZ
A	ЗП1А	ЗП2А		ЗПZA
B	ЗП1B	ЗП2B		ЗПZB
C	ЗП1C	ЗП2C		ЗПZC
D	ЗП1D	ЗП2D		ЗПZD
E	ЗП1E	ЗП2E		ЗПZE
F	ЗП1F	ЗП2F		ЗПZF

Ранжування адміністративних одиниць за даними таблиці 1.6.4 може виконуватись різними способами:

- кожному з показників П знаходяться найкраще значення  $ЗП_k$  і найгірше  $ЗП_n$ , а всі інші порівнюються з ними;
- кожному з показників П знаходиться середнє значення  $ЗП_c$  і всі показники порівнюються з ним;
- кожному з показників П вираховується індекс показника адміністративної одиниці (регіону) (1.6.1):

$$IP = \frac{ЗП - ЗП_n}{ЗП_k - ЗП_n} + 1 \quad (1.6.1)$$

- за індексами показників IP розраховується інтегральний індекс IP (1.6.2):

$$IP = aIP_1 + bIP_2 + zIP_z \quad (1.6.2)$$

де  $a, b, \dots, z$  – коефіцієнти вагомості, які призначаються за умови  $a + b + \dots + z = 1,0$ .

Здавна використовується **метод експертної оцінки** з залученням висококваліфікованих фахівців. Останнім часом широкого розповсюдження отримали різної спрямованості соціальні опитування, які можна зарахувати до методу експертної оцінки.

Сьогодні, коли оцінці стану навколишнього середовища приділяється все більше уваги одним з методів, який використовується є програмно-цільове управління з розробкою документів різного рівня і деталізації.

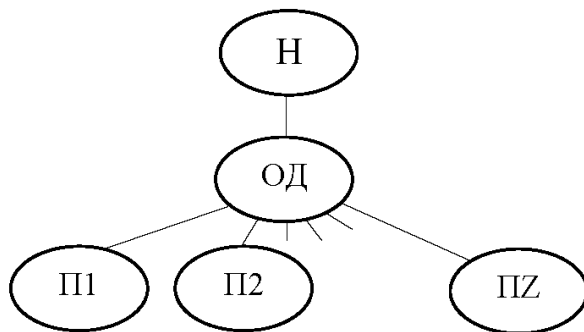
Одним з порівняльних методів є популярний Smart Metod, коли розглядаються потенційні можливості і гальмівні фактори, що заважають ефективному практичному використанню потенціалу, перш за все природного.

Деякі дослідники, виконуючи аналіз соціальних систем, використовують структурно-функціональний аналіз, коли виділяються структурні складові і їхні функції. У якості перших виділяють такі категорії: цінності, норми, адаптація, інтеграція, досягненність мети, різноманіття сфер суспільного життя тощо.

У світі на базі системного аналізу приймаються різні нормативні документи, наприклад, NACCP – Nazard Analysis and Critical Control Point – система аналізу ризиків небезпечних чинників; контроль критичних точок щодо безпеки харчових продуктів.

При використанні будь-якого методу системний аналіз завершується оцінкою результатів, яка виконується за допомогою спеціальних показників – індикаторів і індексів.

Організувати оцінку системного аналізу рекомендується за схемою, відомою у екологів як «правило Одума» – об'єкт дослідження «ОД» розглядається як система, що складається з Z підсистем (рис. 1.6.3), сукупність яких дозволяє системі виконувати свої функції. Оцінка ефективності системи повинна здійснюватися не лише на рівні ОД, а і на більш високому рівні – по індексах надсистеми Н. Останнє забезпечує більшу об'єктивність, бо оцінка ефективності ОД інтегрується з ефективністю інших систем, що утворюють надсистему.



**Рис. 1.6.3.** Системне правило Одума  
(Н – надсистема; П – підсистема)

### **Контрольні запитання і завдання:**

1. Чому системний аналіз є найбільш ефективним при дослідженні ЕС і СЕС?
2. У чому полягає мета функціонування природної системи?
3. У чому полягає мета функціонування урбоєкосистеми?

4. Запропонувати показники, що відкладаються вісями «х-у» (рис. 1.6.2) для використання методу суперечностей.

5. Розробити квадрат оцінки при використанні методу суперечностей для дослідження якості соціоекологічної системи «академічна група 521».

6. Виконати розрахунки по визначенню місця СЕС № 3 серед інших за такими даними:

№ СЕС	1	2	3	4	5
Показник	100	90	70	60	95

7. Чому Ю. Одум пропонує оцінку ефективності системи виконувати на більш високому рівні?

### **1.7. Якість навколишнього середовища**

- *якість як філософська категорія;*
- *якість як споживацька властивість;*
- *поняття «навколишнє середовище»;*
- *визначення «якість навколишнього середовища»;*
- *якість промислової продукції;*
- *якість навколишнього середовища людини.*

Якість у **логіці Аристотеля** – одна з 10 категорій, на які філософ поділив реальність. Якість – це побічна обставина, за допомогою якої річ є саме такою, а не іншою. Це її змістовні характеристики і форми, її здатності та можливості, її внутрішня визначеність. Якість – це категорія, яка відображає істотну визначеність речей, явищ реального світу. Якість, на відміну від кількості, не має одиниці виміру. Якщо кількість дає відповідь на питання «скільки?», то якість на питання «який?». Це – об'єктивна і загальна характеристика об'єкта, що виявляється в сукупності його властивостей. Якість – структурно неподільна сукупність ознак, властивостей речовини, поля або предмета, демонстрована в системі відносин з іншими речовинами, предметами або будь-якими матеріальними утвореннями.

У реальному житті **якість** (*qualis*) предмета, виробу, об'єкта, речовини, умов тощо – це відповідність вимогам споживача. Це сукупність корисних властивостей, що дозволяють задовольняти певні матеріальні чи духовні потреби. У стандарті ISO – 8402 «Управління якістю та забезпечення якості: словник» сказано, що якість – це сукупність характеристик об'єкта, що відносяться до його здатності задовольняти обумовлені або передбачувані потреби. Якість продукції

охоплює не тільки споживчі, а й технологічні її властивості, конструкторсько-художні особливості тощо. Міжнародна організація зі стандартизації визначає якість як сукупність властивостей й характеристик продукції чи послуг, що забезпечують їм здатність задовольняти потреби.

Теорією якості займається спеціальний науковий напрям під назвою *кваліметрія*, що поєднує кількісні методи оцінки якості і допомагає обґрунтувати вибір оптимальних рішень у процесі управління.

Сьогодні якість споживчих товарів, як правило, регламентується законами, стандартами та іншою нормативною документацією. На рисунку 1.7.1 показано уявлення про якість **промислової продукції**, що охоплює дев'ять властивостей виробу за його життєвий цикл.

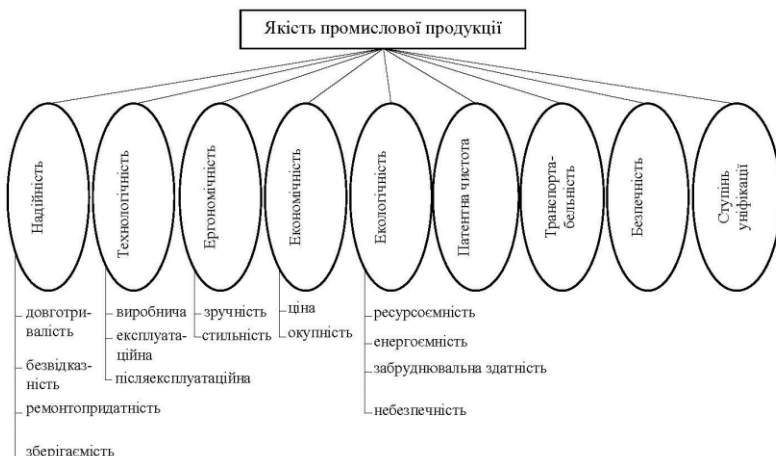


Рис. 1.7.1. Схема змісту якості промислової продукції

В українському екологічному законодавстві поняття «якість» зустрічається часто. Наприклад, у Водному Кодексі України стаття 37 «Екологічний норматив якості води водних об'єктів» наголошує, що ступінь забруднення водних об'єктів визначається відповідними категоріями якості води. Показники якості води враховують загальнофізичні, біологічні, хімічні і радіаційні властивості. У статті 38 «Нормативи гранично допустимого скидання забруднювальних речовин» вказується, що нормативи встановлюються з метою поетапного досягнення екологічного нормативу якості води водних об'єктів.

Закон України «Про охорону атмосферного повітря» передбачає низку нормативів (Н): Н. екологічної безпеки, Н. вмісту забруднювальної речовини, Н. гранично допустимого впливу, Н. гранично допустимого впливу факторів і Н. якості атмосферного повітря – критерій якості атмосферного повітря, який відображає гранично допустимий максимальний вміст забруднювальних речовин в атмосферному повітрі і за якого відсутній негативний вплив на здоров'я людини та стан навколишнього природного середовища.

Наведене свідчить за якого розбіжностей у трактуванні деталей при значній відповідності схемі, показаній на рис. 1.1.2.

Поняття «**навколишнє середовище**» (англ. *environment*) має дуже широкий діапазон використання. Космос по відношенню до планети Земля. Краплина води для мікроба. Умови, в яких проживають люди. Середовище існування і виробничої діяльності людей. Довкілля – природне середовище, що оточує людину та елементи штучного середовища (житлові будівлі, підприємства, дороги, канали, водосховища тощо). Зовнішнє середовище, середовище існування – сукупність всіх матеріальних тіл, сил і явищ природи, її речовин і простору, будь-яка діяльність людини, що знаходиться в безпосередньому контакті з живими організмами. Сукупність абіотичного, біотичного і соціального середовищ, які сумісно впливають на людину і його господарство. Складовий елемент відтворення матеріальних цінностей, який водночас виконує функції життєвого простору і природних ресурсів. Те, що знаходиться ззовні розглянутого організму або людини. Узагальнене поняття, що характеризує природні умови певної місцевості і її екологічний стан. Перелік можна продовжити. Вкажемо на одне офіційне визначення. У ст. 5 Закону України «Про охорону навколишнього середовища» вказується, що навколишнє природне середовище – це сукупність природних і природно-соціальних умов та процесів, природні ресурси, як залучені в господарський обіг, так і невикористовувані в народному господарстві в даний період (земля, надра, води, атмосферне повітря, ліс та інша рослинність, тваринний світ), ландшафти та інші природні компоненти.

Враховуючи зміст навчальної дисципліни САЯНС, обмежемо діапазон поняття «навколишнє середовище» наступним:

– об'єктом, навколишнє середовище якого розглядається, є люди, вищі рослини, рослини, тварини, риби. Абіотичні природні компоненти, штучні споруди, антропогенні технології і процеси в якості об'єктів не враховуються;

– межі навколишнього середовища визначаються межами відповідної екологічної системи, як правило, невисокого ієрархічного рівня, а саме консорційної, парцелярної або ландшафтної. Біосфера, субстратні і зональні екосистеми не розглядаються. Оцінка якості навко-

лишнього середовища в межах біомних, крайніх і провінційних систем виконується лише в обґрунтованих випадках;

- навколишнім природним середовищем організму є перш за все середовище його проживання: водне, наземне, ґрунтове. Існує певна категорія організмів, які існують в декількох середовищах – земно-водні, птахи;

- найбільш ближнє навколишнє середовище організму – це його «екологічна ніша» – сукупність умов, необхідних для його існування: поживні речовини, вода, енергія, кисень, простір;

- внаслідок рухливості компонентів системи «об'єкт – навколишнє середовище» значення їх показників непостійні. Тому домовимося використовувати поняття «мікросередовище» (або ближнє) – коли значення показників довкілля відповідають конкретній миттєвій ситуації та «макросередовище», що охоплює більший простір і визначається усередненими показниками природних абіотичних процесів;

- для дерев необхідно враховувати «ярусність» лісу, бо за Сукачевим В. М. кожен ярус треба розглядати як окрему матеріально – енергетичну систему. Більш докладно це питання аналізується в Модулі 2 посібника;

- вплив організмів на своє мікросередовище особливо відчутний під час знаходження в обмеженій оселі – в дуплі, термітнику, норі, гнізді, берлозі тощо. Назвемо таку зону «ойкументним навколишнім середовищем».

Під час аналізу якості **навколишнього середовища людини** в СЕС враховуються не лише матеріальні, а й нематеріальні внутрішні і зовнішні зв'язки. Якість навколишнього середовища людини характеризується відповідністю вимогам людини до матеріальних умов середовища проживання, до соціальних взаємовідносин, до духовних потреб і до комфортності послуг.

У світовій практиці це різноманіття умов враховується шляхом конкретизації мети дослідження: якщо «безпека життєдіяльності» присвячується аналізу матеріальних зв'язків, то «якість життя», «рівень життя», «індекс соціального розвитку» враховують як матеріальні (зокрема, економічні), так і інші фактори.

На завершення теми сформулюємо визначення поняття «якість навколишнього середовища» в контексті навчальної дисципліни САЯНС. Якість навколишнього середовища – це відповідність значень показників середовища, в якому функціонує живий організм (люди, рослини, тварини, птахи, риби), вимогам організму до цих показників. Як видно на рисунку 1.1.2, поняття «якісне навколишнє середовище» відповідає безпечному стану середовища і не поширюється на небезпечний його стан. Оскільки безпечність стану середовища характеризує лише одну компоненту поняття «якість» та інтегрована відповідність

середовища вимогам організму має декілька рівнів, наприклад, три: високий, середній, низький.

**Контрольні запитання і завдання:**

1. У чому полягає принципова відмінність між поняттями «якість» і «кількість»?
2. Назвати три фази життєвого циклу продукції.
3. Обґрунтувати перелік і зміст екологічних властивостей продукції.
4. Обґрунтувати зміст поняття «навколишнє середовище».
5. У чому полягає принципова відмінність навколишнього середовища людини і природної тварини?
6. Якими рівнями оцінюється якість навколишнього середовища в дисципліні САЯНС?
7. Розробити схему класифікації поняття «навколишнє середовище».

**1.8. Об'єкт і суб'єкт досліджень**

- *зміст понять «об'єкт» і «суб'єкт»;*
- *схема дій між суб'єктом і об'єктом;*
- *трансформація дії екологічного фактору;*
- *схема діючих на об'єкт екологічних факторів;*
- *оцінка якості навколишнього середовища об'єкта;*
- *поняття «екологічна характеристика».*

У підрозділі 1.1 вказано, що об'єктом дослідження САЯНС є живий організм чи сукупність організмів певного біологічного виду, а суб'єктом – середовище, у якому функціонує об'єкт. У структурно-ієрархічній схемі екологічної системи ці стосунки відбуваються на найнижчому, або на передостанньому рівні (рис. 1.4.1, 1.5.1).

Живий організм має певні якісні властивості (В), що кількісно характеризуються показниками (П). Це, перш за все, продуктивність – здатність виробляти (продукувати) біомасу – яка визначається кількістю продукції, виробленої за певний час на одиницю площі (кг за рік), або зміна показника, що свідчить про збільшення біомаси (розміри організму, кількість екземплярів тощо). Укажемо також на енергоефективність – можливість сприйняти, переробляти, засвоювати зовнішню енергію, яка, крім абсолютних значень кількості (кВт, кал) визначається так званим ККД. Велика кількість показників характеризує кібернетичність організму – чутливість, рухомість (рухливість), саморегульованість, стійкість (витривалість) тощо. Існують і інші



## ***Системний аналіз якості навколишнього середовища***

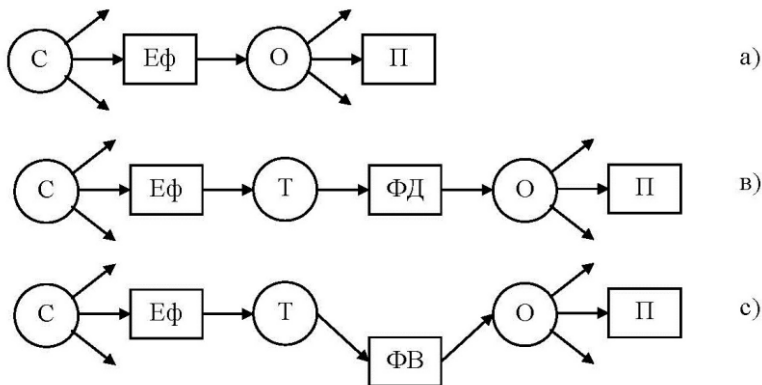
властивості і показники, притаманні живим організмам. Сукупність організмів отримує ті самі властивості у спадок і має додаткові – емерджентні.

Сукупність організмів характеризується критеріями популяційного підходу: віковим складом, статтю, родинними стосунками, управлінськими зв'язками тощо.

Сукупності людських організмів визначаються відповідно до законів соціології і медицини. Кожен організм є компонентом декількох соціумів.

Дія суб'єкта проявляється у вигляді чисельних екологічних факторів (ЕФ), що класифікуються за різноманітними ознаками.

На рисунку 1.8.1 показано три варіанти дії суб'єкта на об'єкт.



**Рис. 1.8.1.** Схеми дії суб'єкта на об'єкт:

- а) безпосередній контактний вплив; в) з трансформацією дії екологічного фактору (опосередкований вплив); с) з перетворенням дії суб'єкта (опосередкований вплив).



Найпростіший вплив суб'єкта на об'єкт спостерігається при конкретній безпосередній дії екологічного фактору на об'єкт. Зміна

величини екологічного фактору внаслідок коливань стану довкілля викликає відповідну зміну показника об'єкта.

При безконтактних опосередкованих ситуаціях вплив на об'єкт залежить від деформації, трансформації значення екологічного фактору в трансформері.

Трансформером може бути водне, літосферне, атмосферне середовище, або живий організм, а також час.

Трансформація значення фактору дії суб'єкта у водному середовищі відбувається внаслідок таких властивостей води та водних утворень:

- розчинність твердих, рідких і газоподібних речовин у воді. Вода має властивість розчиняти практично всі природні речовини, утворюючи розчини. Залежно від властивостей речовини кількість її у водному розчині обмежена певним значенням, яке відповідає так званому насиченому розчину;

- хімічна властивість води, що виявляється в здатності вступати в хімічну реакцію з утворенням нових речовин, зокрема, кислот;

- енергетична можливість руху води, що призводить до переміщення речовини-фактору. Потрапляючи у воду із об'єкта дії, фактор, наприклад, нафтопродукти, внаслідок руху водного середовища розповсюджується у просторі зі зміною концентрації. Як правило, концентрація (інтенсивність) фактору зменшується. Але можливе і збільшення інтенсивності фактору у випадках, коли речовина-фактор накопичується в певному об'ємі води внаслідок гідродинамічних сил потоку чи внаслідок осадження речовини на дні водного об'єкта;

- випаровуваність води підвищує концентрацію речовини-фактору і замкненому водному об'єкті.

В атмосфері інтенсивність фактору дії суб'єкта змінюється (трансформується) внаслідок таких явищ:

- розсіювання в просторі під впливом рухів повітряних потоків;
- тимчасове накопичення часток речовин з густиною більшою за густину повітря, наприклад аерозолів чи пилу, в певних об'ємах повітряного простору та на обмежених територіях. Визначальним у цих процесах є густина речовин-факторів;

- перетворення речовин внаслідок хімічних процесів, наприклад, утворення кислот з оксидів сірки та азоту.

У земній корі трансформація виявляється головним чином у вигляді накопичення факторів – забруднювальних речовин у ґрунті, переміщення таких речовин водами та атмосферними опадами, що стікають поверхнею ґрунту. Значним також є зміна потужності фактору внаслідок фізичних і хімічних процесів у ґрунті. Наслідком цих процесів є не лише трансформація фактору, а і утворення нового(их) фактору(ів). Такі нові фактори будемо називати похідними,

вторинними. Їх утворення може відбуватись не лише в ґрунті, а і в інших середовищах.

Значним трансформером є живий організм. По-перше, тварини і рослини переробляють дію фактору в процесі дихання. Рослини, крім того, здійснюють процеси фото- і хемосинтезу. По-друге, організми здібні накопичувати певні речовини, значно (інколи в сотні і тисячі разів) збільшуючи їх концентрацію. Велике значення в трансформації прояву дії фактору має багатоступенева покрокова зміна впливу при переміщенні активної речовини в природному середовищі і в організмах, зокрема, в харчовому ланцюзі. Наприклад, токсичність відпрацьованих в автомобілі газів може впливати на людину в процесі дихання забрудненим повітрям і тут відбувається єдина трансформація – зменшення концентрації газів внаслідок ефекту розсіювання в атмосфері. Інший варіант – коли ті самі гази атмосферними повітряними потоками будуть віднесені в поле і осядуть на траві. У цьому випадку покрокова багатоступенева трансформація має такий вигляд: відпрацьовані гази (автомобіль – суб'єкт ланцюга) → атмосферне повітря (розсіювання – зменшення концентрації) → ґрунт → трава (накопичення – збільшення концентрації) → корова (накопичення) → молоко → людина. Можливі і інші ланцюги. Наприклад, через харчі рослинного походження.

На завершення розділу про трансформацію дії фактору розглянемо питання про оціночний коефіцієнт, що враховує вплив середовища і часу, який назвемо коефіцієнтом трансформації  $K_{mp}$  (1.8.1).

$$K_{mp} = \Phi_{об} / \Phi_{суб}, \quad (1.8.1)$$

Тут під  $\Phi_{суб}$  розуміється значення фактору, що характеризує вплив суб'єкта дії, а  $\Phi_{об}$  – це значення того фактору, який безпосередньо впливає на об'єкт дії. При накопичувальній трансформації  $K_{mp} > 1,0$ , при розсіюванні  $K_{mp} < 1,0$ , а при безпосередній (контактній) дії без трансформації  $K_{mp} = 0$ .

Для покрокової багатоступеневої трансформації сумарний коефіцієнт трансформації має такий вигляд (1.8.2):

$$K_{mpS} = K_{mp1} * K_{mp2} * K_{mpZ}, \quad (1.8.2)$$

де цифра 1, 2 ... z відповідає номеру ступеня трансформації.

Значення фактору, що діє на об'єкт, перебуває в залежності (1.8.3):

$$\Phi_{об} = \Phi_{суб} * K_{mpS}. \quad (1.8.3)$$

Необхідно зазначити, що значення коефіцієнта трансформації залежить не лише від властивостей середовища-трансформера, а й від проміжку часу між виникненням дії і сприйняттям її об'єктом (час затримки). При значному періоді часу затримки внаслідок фізико-хімічних процесів активність дії речовини-забруднювача змінюється.

У цьому випадку до значення коефіцієнта трансформації необхідно внести уточнення (1.8.4):

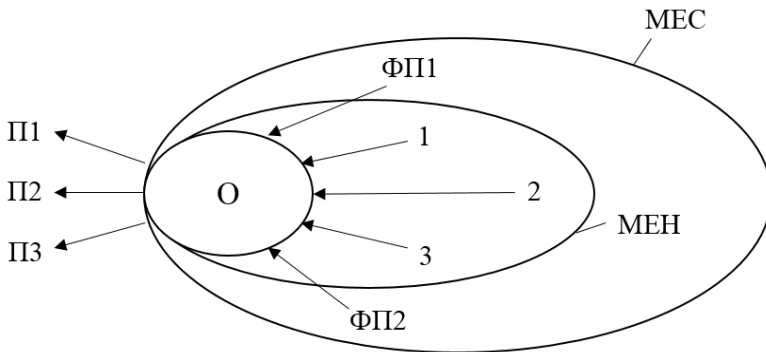
$$K_{trt} = K_{tr} * (t_3 / t_n), \quad (1.8.4)$$

тут  $t_3$  – проміжок часу затримки;

$t_n$  – тривалість періоду повного зникнення негативної властивості.

Трансформер не лише змінює величину екологічного фактору, а може стати суб'єктом дії нового (похідного) фактору.

Для більш детального розгляду питання про дію екологічних факторів на об'єкт дослідження проаналізуємо рисунок 1.8.2, на якому показана схема взаємодій об'єкта дослідження навколишнього середовища в межах екологічної системи.



**Рис. 1.8.2. Схема взаємодій в екосистемі**

О – об'єкт дослідження; МЕС – межа екосистеми;  
МЕН – межа екологічної ніші об'єкта; ФП – фактор позанішовий;  
1, 2, 3 – фактор нішовий; П – показник об'єкта дослідження

Об'єкт дослідження знаходиться під впливом екологічних факторів двох категорій – нішових і позанішових. Нагадаємо, що одне з визначень поняття «екологічна ніша» – це сукупність умов, необхідних для тривалого і продуктивного існування організму (популяції). Ці умови складаються з середовища існування (вода, ґрунт, земна поверхня певного обсягу) і екологічних факторів середовища (температура, солоність, вологість, освітленість тощо). Охопимо ці умови сукупністю нішових факторів.

Вплив навколишнього середовища на об'єкт дослідження з боку інших компонентів екологічної системи не обмежується позитивними життєво необхідними нішовими факторами. На нього діє іще значна кількість факторів позанішових, вплив яких може бути різноманітним,

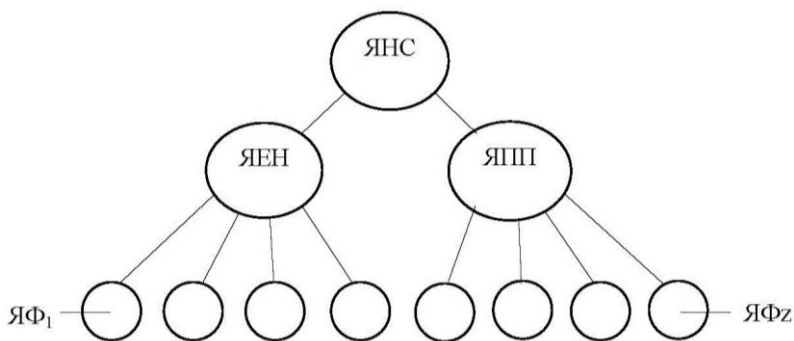
## ***Системний аналіз якості навколишнього середовища***

здебільшого негативним. Ця дія забруднювальних речовин, токсикантів, радіонуклідів, шуму тощо.

Рисунок 1.8.2 дає підстави для наголошення наступної класифікації якості навколишнього середовища об'єкта за рівнем складності:

- якість дії будь-якого фактору окремо;
- якість екологічної ніші об'єкта як інтегральної оцінки сукупності нішових факторів;
- якість навколишнього середовища об'єкта як інтегральна оцінка сукупності всіх факторів, що діють на об'єкт.

На рисунку 1.8.3 зазначене представлено у вигляді трьохрівневої системи операцій.



**Рис. 1.8.3.** Структурно-ієрархічна схема системи визначення якості  
ЯЕН – якість екологічної ніші; ЯПП – якість позанішової підсистеми;  
ЯФ – якість екологічного фактору

На завершення зазначимо, що всі розглянуті взаємодії формально описуються залежностями, які мають назву екологічних характеристик:  $\Pi = f(\Phi)$ , де  $\Pi$  – показник об'єкта дії;  $\Phi$  – фактор дії суб'єкта.

### ***Контрольні запитання і завдання:***

1. Перелічити об'єкти оцінки якості навколишнього середовища.
2. Що є суб'єктом у системі оцінки якості навколишнього середовища?
3. Розробити перелік показників дерева (риби, птаха, картоплі).
4. Розробити перелік властивостей соціуму сім'я (студентська навчальна група, викладачі кафедри).
5. Що це таке «коефіцієнт трансформації впливу»?

6. Перелічити нішові фактори дерева (риби, птаха, картоплі).

### **1.9. Системні зв'язки об'єкта дослідження**

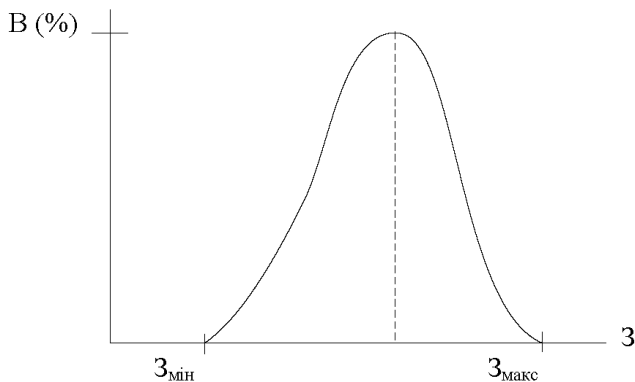
- *особливості дії абіотичних природних факторів на об'єкт;*
- *засоби пристосування організму до дії абіотичних факторів;*
- *вірогіднісний характер змін значень природних факторів;*
- *«толерантність» організму до дії екологічного фактору;*
- *визначення поняття «екологічна характеристика організму»;*
- *особливості зв'язків у соціоекосистемі.*

Об'єкт дослідження в екологічній системі відчуває значну кількість впливів у вигляді зав'язків з суб'єктами навколишнього середовища (наприклад, рис. 1.4.2). Передусім варто вказати на фактори природного абіотичного середовища: сонячну інсоляцію, хімічний склад води в гідросферних компонентах, фізичні і хімічні процеси в атмосфері, ґрунті і гідросфері тощо. Значення абіотичних природних факторів постійно хаотично міняється навколо трендових довготривалих закономірностей, викликаних фундаментальними планетарними явищами: нахил осі земної кулі, обертанні планети, земне і місячне тяжіння, сонячне опромінювання, геосферний колообіг речовин, біогеохімічні глобальні процеси.

Трендові закономірності в масштабі планети і окремих територій виявляються у вигляді регулярних гармонійних змін періодів року та добових фаз хаотичність змін абіотичних факторів полягає в невизначеності особливостей поведінки, наприклад, температури в певний літній день.

За багатомісячну еволюцію живі організми пристосувалися до вказаної закономірності змін абіотичних природних факторів у конкретному регіоні і середовищі двома засобами. Трендові коливання фактору за тривалий період на генному рівні популяції утворили оптимальну морфологію організму, що забезпечила найкращу адаптацію його до існування в конкретних абіотичних умовах. Для можливості проживання в умовах хаотичних коливань абіотичних факторів навколо трендових значень організм має систему оперативної саморегуляції, яка дозволяє йому існувати в умовах зміни будь-якого фактору навколишнього середовища в певному діапазоні.

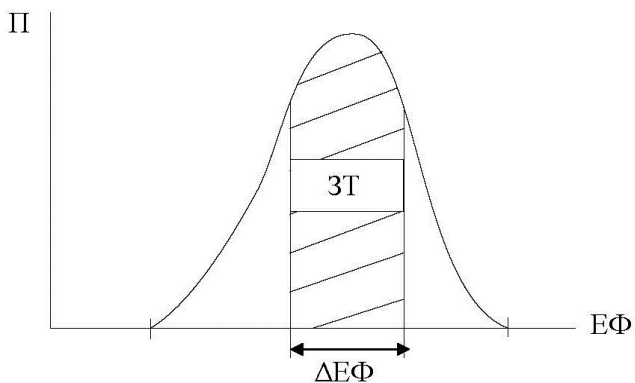
Зазвичай хаотичні коливання значень у певному діапазоні підпорядковані закону розподілу випадкових величин (рис. 1.9.1).



**Рис. 1.9.1.** Залежність кількості випадкових величин  $V$  від значення величини  $Z$

Є всі підстави вважати, що коливання абіотичних природних факторів навколо трендових значень описується саме такою закономірністю. У такому випадку для практичного визначення можливого значення будь-якого абіотичного природного фактору достатньо мати масив статистичних гідрометеорологічних даних за тривалий період.

Логічним буде припущення, що живий організм пристосувався саме до такої, як на рисунку 1.9.2, поведінки будь-якого абіотичного фактору і його найкращі показники відповідають зоні максимальних значень  $V$ . Саме цим слід пояснити давно відмічену біологами наявність у організмів зони толерантності (оптимуму) (рис. 1.9.2).



**Рис. 1.9.2.** Залежність показника організму П від величини екологічного фактору ЕФ (ЗТ – зона толерантності)

Відмічені вірогіднісні закономірності в поведінці організму і змін природних абіотичних факторів створюють базу для ранжування якості навколишнього середовища. Очевидно, що умови, коли значення екологічного фактору (рис. 1.9.2) відповідають діапазону ΔЕФ, який складає біля 30 % від усього діапазону змін фактору, будуть найкращими для організму і якість ЕФ відповідає найвищому рівню («В» – на рис. 1.1.2). При розширенні діапазону ЕФ значення визначального показника організму П буде зменшуватися і неважко встановити за якого діапазону вірогідності ЕФ його якість оцінюється на рівні середньої «С» та задовільної «З» якості (рис. 1.1.2).

Ураховуючи ключове значення залежностей  $P = f(EF)$  у процесі оцінки стану і якості навколишнього середовища ми назвали їх **екологічними характеристиками** організмів.

Кожен фрагмент екологічної системи визначається певною кількістю екологічних характеристик. У таблиці 1.9.1 наведено матрицю однофакторних характеристик при кількості показників і факторів по три одиниці. Якщо врахувати, що на практиці діють і багатофакторні впливи, число можливих варіантів збільшується катастрофічно. Тому на початковому етапі аналізу екосистеми постає питання мінімізації числа екологічних характеристик. Робиться це, перш за все, шляхом оцінки і ранжування показників об'єкта та екологічних факторів.

*Таблиця 1.9.1*

**Матриця екологічних характеристик**

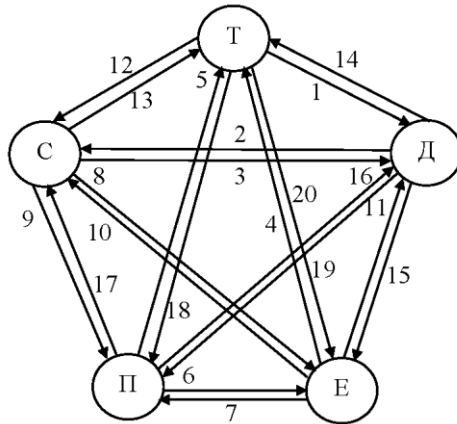
Показник об'єкта	Активний екологічний фактор		
	$\Phi_1$	$\Phi_2$	$\Phi_3$
$P_1$	$P_1 = f(\Phi_1)$	$P_1 = f(\Phi_2)$	$P_1 = f(\Phi_3)$
$P_2$	$P_2 = F(\Phi_1)$	$P_2 = F(\Phi_2)$	$P_2 = F(\Phi_3)$
$P_3$	$P_3 = F(\Phi_1)$	$P_3 = F(\Phi_2)$	$P_3 = F(\Phi_3)$

Людині, яка знаходиться на вершині біосферної еволюції, притаманні всі властивості і потреби вищих тварин, а також додаткові – соціальні, пов'язані з особливостями організації життя і трудової діяльності. Тому поняття «екологічна ніша» в СЕС треба розширити до «соціоекологічна ніша», де будуть враховувати не лише біологічні потреби організму, а і нематеріальні потреби – індивідуальні і колективні (соціальні). Разом із розширенням ніші збільшується і кількість зв'язків у системі – в СЕС, на відміну від ЕС, компоненти взаємодіють не лише через матеріальні зв'язки, а і з допомогою нематеріальних.



## **Системний аналіз якості навколишнього середовища**

На рисунку 1.9.3 показана схема зв'язків у соціоекосистемі отримана на базі запропонованої нами неоантропоцентричної моделі розвитку біосфери, що побудована на трьох класичних дуалізмах людини – філософському «тіло – дух», соціологічному «індивідум – соціум» та Вернадського «організм – друга геологічна сила».



**Рис. 1.9.3.** Схема зв'язків у СЕС:

- Т – тіло людське; Д – людська душа; Е – економіка; П – природне середовище; С – соціальна сфера; 1 – у здоровому тілі – здоровий дух;  
2 – вплив духовності людей на суспільну мораль;  
3 – вплив суспільної моралі на духовність особи;  
4 – залежність здоров'я від економіки; 5 – залежність здоров'я людей від якості середовища; 6 – споживання природних ресурсів економікою;  
7 – забруднення природного середовища економікою; 8 – управління економікою; 9 – природоохоронна діяльність; 10 – задоволення соціальних економічних потреб; 11 – задоволення духовних потреб людини;  
12 – залежність «соціального» здоров'я від здоров'я окремих осіб;  
13 – суспільне управління здоров'ям людей; 14 – самовдосконалення;  
15 – «духовність» підприємців; 16 – соціальне управління духовністю;  
17 – задоволення соціальних потреб за рахунок природи;  
18 – негативний вплив людини на природу;  
19 – бездуховне відношення до природи; 20 – робоча сила

### **Контрольні запитання і завдання:**

1. Що впливає на трендові залежності абіотичних природних факторів?
2. Пояснити різницю між адаптацією та саморегуляцією організму.
3. Розтлумачити зміст рисунка 1.9.1.
4. У чому зміст закону толерантності організму?

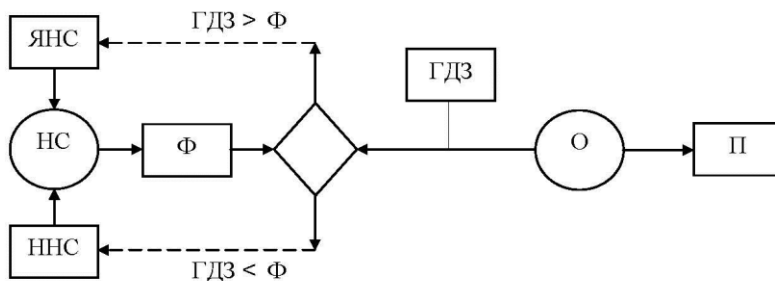
5. Що це таке «80-ти відсоткова забезпеченість втрат річкової води»?

6. Позначити на рисунку 1.9.3 матеріальні зв'язки.

### **1.10. Способи оцінки якості екологічного фактору**

- два підходи для оцінки рівня якості;
- сутність однорівневого методу оцінки;
- схема оцінки рівня якості;
- визначення зони толерантності організму;
- три рівні якості екологічного фактору;
- поняття «толерантна екологічна характеристика».

Під час оцінки якості промислової продукції, виробів, сільсько-господарської продукції тощо використовують два підходи – однорівневий і багаторівневий. Перший полягає в порівнянні фактичного значення якості з офіційно встановленою величиною ГДЗ. Саме такий підхід використовується при визначенні якості навколишнього середовища в багатьох державах, зокрема в Україні.



**Рис. 1.10.1.** Схема однорівневої оцінки стану навколишнього середовища об'єкта:

НС – навколишнє середовище об'єкта «О»;

Ф – екологічний фактор; ГДЗ – гранично допустиме значення Ф;

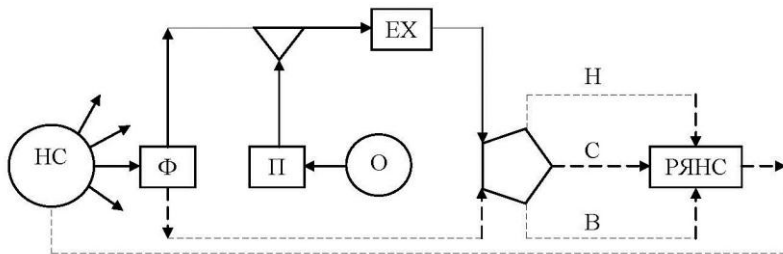
ЯНС і ННС – якісне і неякісне (недопустиме) середовище;

П – показник(и) об'єкта;  $\diamond$  – операція зіставлення

На рисунку 1.10.1 показано сучасне офіційне уявлення про оцінку стану навколишнього середовища шляхом зіставлення величини діючого фактору суб'єкта з гранично допустимим значенням для об'єкта. Очевидно, що за такого підходу оцінка зводиться до відповіді «допустимо – ЯНС» чи «недопустимо – ННС». Але якість будь-чого не може порогово мінятися (крім випадків катастрофічних подій) – вона

повинна змінюватися поступово і мати різні рівні (гатунки, класи, сорти), що враховується при використанні багаторівневого підходу.

На рисунку 1.10.2 показана схема двофазної оцінки тривірневої якості навколишнього середовища. Суцільними лініями показані операції підготовчої фази – утворення екологічної характеристики. Пунктирні лінії відповідають операціям оцінки.

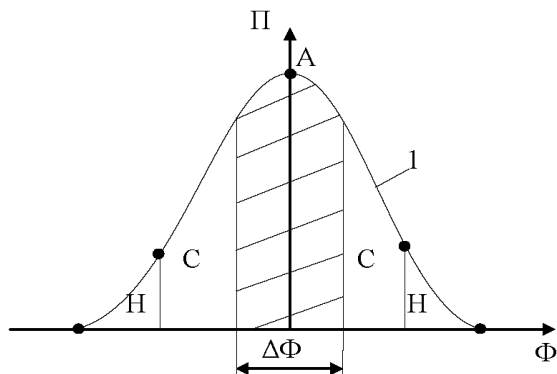


**Рис. 1.10.2.** Схема оцінки рівня якості НС

РЯНС – рівні якості навколишнього середовища; В – високий;  
С – середній; Н – низький

Аналіз схеми на рис. 1.10.2 вказує на центральну роль у системі зв'язків так званих «екологічних характеристик» (EX), які у графічному представленні можуть бути односхиливими, двосхиливими (симетричними та асиметричними) та багатосхиливими. Використання поняття «екологічна характеристика» дозволяє перейти від застарілої порогової методики оцінки якості НС до багаторівневої оцінки. Зазначимо, що екологічна характеристика організму (популяції) є ніщо інше, як математичне представлення дії давно відомих у біології законів толерантності (В. Шелфорда) і мінімуму (Ю. Лібіха), які стверджують наступне, значення екологічного фактору в певному діапазоні (у зоні толерантності) забезпечує найкращої умови для життєдіяльності організму. Фатальним значенням певного фактору, що лімітує, буде величина менша за необхідну для існування організму. Додамо до зазначеного, що фатальним може бути не лише мінімальне значення фактору, а і максимальне.

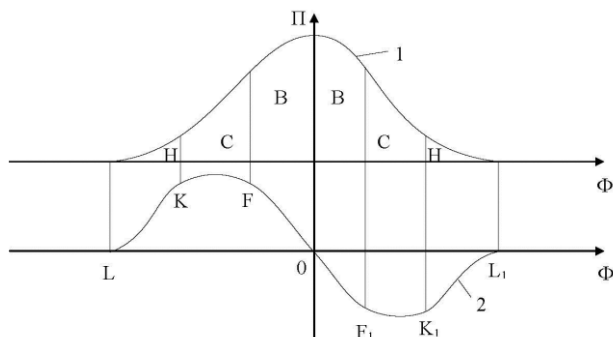
Як було вказано в підрозділі 1.8, під час аналізу рисунка 1.8.2 найпростішим варіантом складності задачі оцінки якості навколишнього середовища є аналіз впливу на організм певного фактору за однофакторною екологічною характеристикою. На рисунку 1.10.3 такий варіант розглянуто на прикладі симетричної двосхилової екологічної характеристики.



**Рис. 1.10.3.** Зона толерантності організму:  
 1 –  $\Pi = f(\Phi)$  – екологічна характеристика;  
 $\Delta\Phi$  – зона толерантності дії фактору;  
 А – крапка екстремуму показника

На рисунку 1.10.3 у першому наближенні нескладно евристично встановити межі  $\Delta\Phi$ , коли визначальний показник організму  $\Pi$  має значенні близькі до максимального. Будемо вважати, що зона толерантності відповідає найвищій якості значень фактору. Складніше встановити межу між зонами С і Н, які відповідають рівням середньої і низької якості фактору.

Завдання визначення трьох зон поведінки екологічної характеристики з метою точного виявлення рівнів якості вирішується методом диференціювання, оскільки похідна функції більш чутлива, ніж сама функція (рис. 1.10.4).



**Рис. 1.10.4.** Рівні якості фактору:  
 1 – екологічна характеристика  $\Pi = f(\Phi)$ ;  
 2 – похідна  $d\Pi / d\Phi = F(\Phi)$ ; В, С, Н – рівні якості фактору

## **Системний аналіз якості навколишнього середовища**

Крива 2 на рисунку 1.10.4 має чітко визначені ділянки:  $F - 0 - F_1$  – майже прямолінійний крутий перехід через «О»;  $K - F$  та  $K_1 - F_1$  – незначна залежність  $d\Pi / d\Phi$  від  $\Phi$ ;  $K - L$  та  $K_1 - L_1$  – кінцеві перехідні ділянки. Кожна з цих ділянок відповідає певному рівню якості діючого екологічного фактору.

При необхідності (чи бажанні) перейти від якісних категорій В, С, Н до кількісних (цифрових) неважко на рисунку 1.10.4 встановити масштаб  $\Pi$ , прийнявши в точці екстремуму максимальний умовний бал: 5 чи 10 (або 100). Тоді кожна зона якості буде відповідати певному діапазону цифр показника  $\Pi$ .

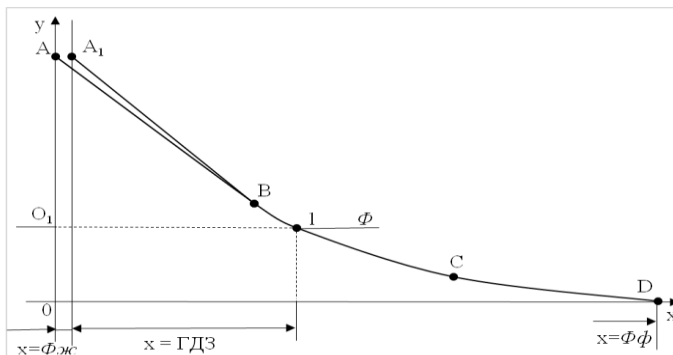
За зовнішнім виглядом криві 1 на рисунках 1.10.3 і 1.10.4 нагадують криві нормального розподілу випадкових величин, що пояснюється наступним. Будь-яка популяція організмів на певній території за багато років існування пристосовується до змін значень факторів, які мають вірогіднісний характер. Логічно припустити, що закон вірогідності пристосування буде адекватним закону вірогідності коливань значень фактору. Тому екологічна характеристика мусить мати форму кривої нормального розподілу. Це принципове припущення дає підстави ввести поняття «теоретична екологічна характеристика», яку можна побудувати за даними таблиці 1.10.1, де приведені ординати кривої нормального розподілу.

*Таблиця 1.10.1*

### **Координати правої гілки теоретичної екологічної характеристики**

Ордината	Точка на кривій			
	А	В	С	Д
По горизонталі (x)	0	33	66	100
По вертикалі (y)	100	40	10	0

Наявність теоретичної залежності дає можливість побудувати розрахункову екологічну характеристику об'єкта, для якого відсутня експериментально отримана екологічна характеристика, але відомі дози ГДЗ і критичні значення (рис. 1.10.5).



**Рис. 1.10.5.** Екологічна характеристика об'єкта ( $A_1 - B - 1$ ) на теоретичній залежності ( $A - B - C - D$ ):

$\Phi$  – екологічний фактор дії на об'єкт (індекси:  $\phi$  – фатальний,  $\text{ж}$  – життєвонеобхідний); ГДЗ – гранично допустиме значення фактору  $\Phi$

Потім, на другому етапі, на кривій  $A - B - C - D$  по величині  $x = \Phi = \text{ГДЗ}$  знаходиться крапка 1 і через неї проводиться горизонталь, яка приймається за вісь  $\Phi$ . Вертикальна вісь вище  $y = y_1$  буде віссю показника об'єкта  $\Pi$  із максимальним значенням  $\Pi_A = \Pi_{\text{опт}}$ . Крива ( $A - B - 1$ ) приймається за екологічну характеристику  $\Pi = f(\Phi)$  з урахуванням переміщення крапки  $A$  праворуч на величину життєво необхідного значення фактору  $\Phi_{\text{ж}}$  (положення  $A_1$ ). Останнє враховує принципово важливий факт необхідності живому будь-яких речовин. У принципі шкідливих речовин немає – є надмірна величина. Зміїна отрута в невеликій кількості – це ліки.

Значення  $\Phi_{\text{ж}}$  приймається відповідно до медичних вимог щодо вмісту речовини в тілі людини, або за санітарними нормами споживання.

### Контрольні запитання і завдання:

1. У чому полягає недолік визначення якості по величині ГДЗ?
2. Що є метою першої фази оцінки багаторівневої якості?
3. Що таке «зона толерантності дії фактору»?
4. Представити однофакторну екологічну характеристику будь-якого організму.
5. У чому причина того, що екологічна характеристика організму схожа на залежність випадкових величин?
6. Яка крапка на екологічній характеристиці відповідає залежності  $d\Pi/d\Phi = 0$ ?
7. Коли використовується поняття «теоретична екологічна характеристика»?

### 1.11. Методи оцінки якості навколишнього середовища

- класифікація методів оцінки якості навколишнього середовища;
- особливості нормативного багатofакторного методу;
- алгоритм визначення якості навколишнього середовища аналітичним методом;
- банк даних алгоритму;
- визначальні властивості і показники об'єкта;
- нішові і позанішові фактори дії;
- види екологічних характеристик;
- рівні якості дії фактору;
- ідентифікація якості навколишнього середовища.

На рисунку 1.11.1 представлена класифікаційна схема методів оцінки за трьома ознаками і фундаментальності, ранжованості, комплексності.



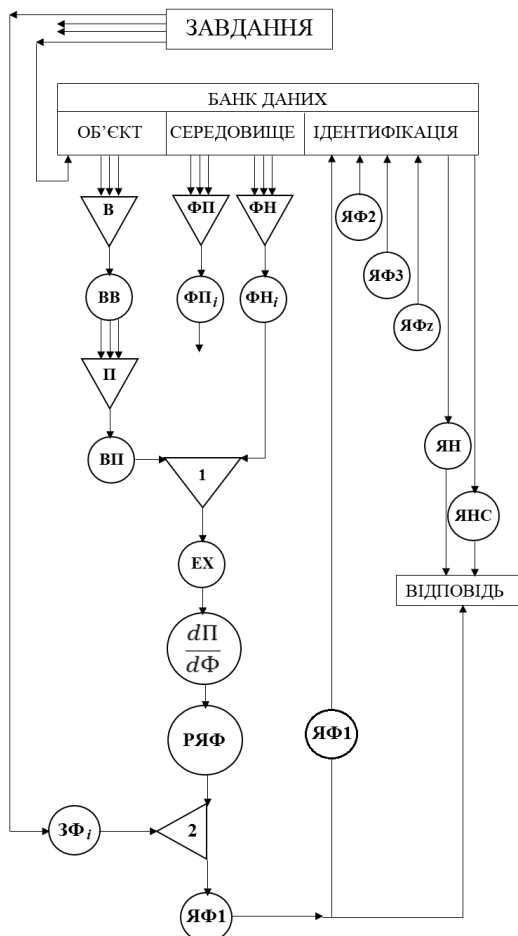
**Рис. 1.11.1.** Схема класифікації методів оцінки навколишнього середовища

У підрозділі 1.10 докладно розглянуто особливості нормативного і аналітичного, однофакторного, одно- і багаторівневого методів.

На практиці, будь-який об'єкт відчуває дію декількох факторів, що значно ускладнює задачу визначення якості довкілля. В офіційних документах приводяться рекомендації щодо відповідних розрахунків. Зокрема, для визначення якості атмосферного повітря, Постановою Кабінету Міністрів України № 343 від 09.03.1999 встановлена залежність (1.11.1):

$$ІЗА = \sum \left( \frac{C_i}{ГДК_i} \right)^{m_i}, \quad (1.11.1)$$

де, ІЗА – індекс забруднення атмосфери;  
 $C_i$  – концентрація  $i$ -ої речовини ( $\text{мг}/\text{м}^3$ );  
 $\text{ГДК}_i$  – гранично допустима концентрація  $i$ -ої речовини ( $\text{мг}/\text{м}^3$ );  
 $m_i$  – показник класу небезпеки  $i$ -ої речовини, а саме: перший клас – 1,7; другий – 1,3; третій – 1,0; четвертий – 0,8.  
 Існують й інші залежності (див. додатки).  
 На рисунку 1.11.2 показано алгоритм оцінки якості навколишнього середовища організму(-ів).



**Рис. 1.11.2.** Схема алгоритму визначення якості НС  
 (пояснення в тексті)




Банк даних (БД) складається з трьох компонентів: «об'єкти» (люди, рослини, тварини, екологічні системи); «фактори» (природні і антропогенні), «ідентифікатори» (індекси, індикатори, комплексні оціночні показники).

У першому компоненті БД об'єкти дослідження описані із зазначенням властивостей «В» – життєдіяльності, продуктивності, енергоспроможності, кібернетичності тощо, кожна з яких визначається показниками – кількісними вимірниками «П».


БД також містить гіпотетичний перелік факторів «Ф», які можуть впливати на будь-який об'єкт за різних обставин.

У розділі БД «Ідентифікатори» приводяться формалізовані залежності, з допомогою яких можливо здійснювати оцінку впливу факторів на об'єкт та значення ГДЗ забруднювальних речовин.

Робота по вирішенню конкретної задачі розпочинається з обґрунтування так званих «визначальних» властивостей і показників об'єкта дослідження («ВВ» і «ВП»), які обираються із загальних списків в БД, з урахуванням специфіки задачі. Далі виконується аналіз особливостей навколишнього середовища з метою визначення переліку діючих факторів, починаючи з «нішових факторів» («ФН<sub>i</sub>»), комплекс яких забезпечує умови існування організму. Це воді, кисень повітря і водного середовища, життєвий простір, енергія, поживні речовини та числові значення їхніх показників – температури, відносної вологості, маси тощо. В екологічній системі, елемент якої розглядається як об'єкт дослідження, діє значна кількість інших, «позанішових факторів» («ФП<sub>i</sub>»): зокрема, забруднювальні речовини техногенного походження.

Залежність визначального показника об'єкта від дії будь-якого фактору, зокрема нішового ФН<sub>i</sub>, як це показано на рисунку 1.11.2, фігурою  називають екологічну характеристику (ЕХ), що може

бути представлена в табличній, графічній чи аналітичній формі. На рисунку 1.11.2 показано схему послідовності представлення табличної форми ЕХ в аналітичну. Після диференціювання залежності  $\Pi = f(\Phi)$  визначаються межі, між рівняннями якості дії фактору, як це описано у підрозділі 1.10.

Наступною операцією  є визначення рівня якості фактору шляхом накладання на закономірності  $d\Pi / d\Phi = f(\Phi)$  конкретного фактору «ЗФ», величина якого передбачена «Завданням». Залежно від особливостей «Завдання», отримана оцінка рівня якості фактору виводиться на етап «Відповідь», або направляється в БД для подальшої обробки. Знання рівнів якості всіх нішових факторів «ЯФ<sub>i</sub>» забезпечує можливість розрахувати рівень якості ніші за залежністю (1.11.2):

$$ЯН = \sum_{i=1}^n \frac{ЯНФ_i}{n}, \quad (1.11.2)$$

де,  $n$  – число нішових факторів.

У залежності (1.11.2) усі нішові фактори прийняті рівнозначними.

Для можливості виконання математичних операцій, поняття рівня якості –  $B$ ,  $C$  і  $H$  – для кожного фактору необхідно привести в бальну систему, прийнявши найвищий рівень якості за 10 балів.

Рівень якості навколишнього середовища ЯНС визначається за якістю ніші та позанішових факторів (1.11.3):

$$ЯНС = \frac{1}{k} \left( ЯН + \sum_{i=2}^k ЯФП_i \right). \quad (1.11.3)$$



Якщо є підстави вважати дію факторів нерівнозначною, вводяться коефіцієнти вагомості факторів. Рівняння (1.11.2) і (1.11.3) отримують вид (1.11.4) і (1.11.5) відповідно:

$$ЯН = \frac{1}{Z} (aЯНФ1 + bЯНФ2 + \dots + eЯНФz), \quad (1.11.4)$$

$$ЯН = \frac{1}{k} (AЯНФ1 + BЯНФ2 + \dots + FЯНФk), \quad (1.11.5)$$

де,  $a + b + \dots + e = 1,0$ ;  $A + B + \dots + F = 1,0$ .

### **Контрольні запитання і завдання:**

1. Чим відрізняються нормативний та аналітичний методи оцінки?
2. Чим відрізняються нішовий і системний методи оцінки?
3. Що собою являє банк даних у системі визначення якості середовища?
4. У якому з методів використовується залежність (1.11.1)?
5. Обґрунтуйте визначальну властивість людини (рослини, тварини) як об'єкта досліджень.
6. Обґрунтуйте визначальний показник властивості, обраної в п. 5 об'єкта дослідження.
7. Виконайте операцію  (рис. 1.11.2) для системи «людина – атмосферне повітря».
8. Виконайте операцію  (рис. 1.11.2) для системи «людина – атмосферне повітря».

### **1.12. Міжнародний досвід в оцінюванні якості навколишнього середовища**

- *досвід міжнародної спільноти в оцінюванні ЯНС;*
- *кількісна характеристика екологічної складової в документах із розвитку;*
- *актуальність розробки нових методів;*
- *«прокляття розмірності» у статистиці.*

У ряді документів Програми розвитку Організації Об'єднаних Націй («Молодежная стратегия ПРООН на 2014–2017 годы: расширение прав и возможностей молодежи, устойчивое развитие» (2014), «Обеспечение устойчивого прогресса человечества: уменьшение уязвимости и формирование жизнестойкости» (2014), «Governance Indicator: A User's guide» (2007), «Indicators for Monitoring the Millennium Development Goals: Definitions, Rationale, Concepts and Sources» (2003), підкреслено, що з кожним роком зростає необхідність виміру за певними показниками аспектів життєдіяльності та розвитку людства.

На сьогодні, їх кількість варіюється від 54 (ООН) до 1357 (Світовий Банк).

У документі «World Development Indicator 2014» для 187 країн світу був розрахований індекс розвитку людства (Human Development Index) у вигляді безрозмірного числа в діапазоні від 0 до 1. Для його обчислення бралися до уваги чотири показники – тривалість життя, навчання у школі, прогнозована тривалість навчання протягом усього життя, значення валового національного продукту (ВНП, доларів).

Безперечно, що результат у вигляді числа, яке характеризує певний процес людського розвитку чи діяльності можна вважати значним досягненням. Однак, на цьому процес оцінювання зупиняється: отримані розрахунки по кожній державі за певним набором індикаторів систематизуються у таблиці і надаються громадянськості для ознайомлення на офіційному сайті міжнародної організації. Відтак, невідомо – чи це проміжний етап у представленні остаточного результату чи завершальний у методиці визначення індексу розвитку.

У багатьох випадках результат є лише частково репрезентативним по відношенню до досліджуваного об'єкта, бо держави із двох наданих їм рекомендацій від міжнародних організацій найчастіше використовують тільки одну – розроблений перелік чи систему індикаторів просто імплементують у свою законодавчу базу. У той час як Принцип 2 Декларації ООН з навколишнього середовища та розвитку чітко

говорить про те, що уряди мають враховувати місцеві (власні) умови розвитку при його подальшому плануванні та оцінюванні.

Аналіз міжнародних доповідей та джерел інформації на предмет якісного характеру індикаторів (економічні, соціальні, екологічні) довів, що сьогодні увага акцентується на соціально-економічних показниках розвитку, у той час як екологічні відсунено на другий план. Крім цього, у поясненнях до текстів доповідей та статистичних звітів не знайдено пояснення універсальності індикаторів. Досить імовірно, що темпи розвитку розвинутих країн (регіонів) вони характеризують краще, ніж держав, що розвиваються.

Оскільки екологічна складова розвитку визнана на міжнародному рівні рівнозначною за вагомістю економічної та соціальної, доцільно навести результати аналізу частки екологічних індикаторів у документах з розвитку глобальних міжнародних організацій.

У 2007 році, на Другому міжнародному семінарі зі сталого зростання у Азіатсько-Тихоокеанському регіоні було зазначено, що усі глобальні екологічні індекси (Environmental Sustainability Index, Environmental Performance Index, Ecological Footprint, Happy Planet Index, Resource and Environment Performance Index) не виправдали себе.

У звіті 2014 року «Indicators for Sustainable Development Goals» зазначено, що індикаторів, як і цілей сталого розвитку, має бути небагато і вони повинні легко сприйматися звичайними людьми і науковими колами. Загалом, у документі пропонується 100 індикаторів, серед яких лише 10–13 відносяться до екологічних.

Segnestam L. (2002) для оцінювання екологічної складової сталого розвитку пропонує 13 із 38 індикаторів. У Gennari P. (2007) – 32 із 54 відповідно.

Аналіз звіту Європейської комісії «Sustainable Development Indicator: An Overview of relevant Framework Programme funded research and identification of further needs in view of EU and international activities» підтвердив, що сьогодні відбувається активна робота щодо формування систем індикаторів сталого розвитку. Так, у багатьох країнах Європи різняться їх кількість і склад в невеликій мірі варіює.

У доповіді ООН «Human Development Report 2014. Sustaining Human Progress: Reducing Vulnerabilities and Building Resilience» наголошується на тому, що багато держав, особливо з групи із високим HDI (в т. ч. Україна), сьогодні розвиваються шляхом несталого розвитку. Зі 140 країн, за наявними статистичними даними, у 82 такий індекс розвитку як «екологічний слід» перевищує глобальні відновлювальні можливості Землі. У той же час, серед наведених індикаторів оцінювання сталого розвитку, тільки 16 зі 190 характеризують екологічну складову розвитку. Тобто, приблизно 8 %.

При аналізі документу «Guidelines for the Preparation and Reporting on Globally-relevant SLM Impact Indicators for Project-level Monitoring» Інституту води, навколишнього середовища і здоров'я ООН, виникає питання сумачії індикаторів з різними параметрами вимірювання. Тут приведено перелік галузевих індексів для оцінювання сталого розвитку та методика їх використання, серед яких зовсім не зустрічається слово «ecology» або його спільнокореневі, а слово «environment» лише декілька разів. Причому там, де пропонується методика оцінювання сталості використання ресурсів довкілля, підходи відрізняються один від одного.

У підсумковому звіті Інституту економіки та миру, який був націлений на формування системи індикаторів для країн, які найчастіше потерпають від стихійних лих та конфліктів внутрішнього або зовнішнього характеру, запропоновано 17 індексів та індикаторів, серед яких жодного екологічного. Тобто можна стверджувати, що ця робота була проведена в рамках антропоцентричного підходу – збереження життя і здоров'я людей без урахування екологічної складової розвитку, яка, безумовно, присутня і в питаннях військового характеру, і під час дослідження закономірностей генезису певних видів стихійних лих.

Повертаючись до документів Світового Банку, а саме до звіту 2014 року, то з точки зору кількості індикаторів за кожною складовою сталого розвитку можна казати про врахування принципу їх рівноцінності. Оскільки розвиток більшості країн світу оцінюється за 110 екологічними, 104 економічними та 167 соціальними показниками. Однак про якість проведеної оцінки казати ствердно не можна з двох причин. По-перше, немає можливості ознайомитися з алгоритмом оцінювання. По-друге, у переліку індикаторів трапляються і ті, що дублюють один одного (наприклад, викиди монооксиду вуглецю розглядаються з декількох сторін: загальнодержавні, секторальні, за джерелами викиду), і невідомо, яким чином вони враховуються у подальшій процедурі оцінювання. Виникає питання, чи потрібно їх так диференціювати (до точкових) або синтезувати (загальнодержавний рівень), якщо оперування таким масивом даних призводить у кінцевому результаті до суттєвих помилок в обчисленні поточного екологічного стану і його прогнозуванні.

Відтак, важливим питанням є розробка об'єктивної системи індикаторів і визначення їх кількості. У роботах Сердюцької Л. Ф. (2009) та Зайченко О. О. (2008) щодо цього наголошується на тому, що розвиток електронно-обчислювальних машин сприяє поширенню математичних моделей, які спрямовані до максимально адекватного

розгляду об'єкта за рахунок розширення кількості досліджуваних процесів і більш детального їх опису. Це вже призвело до того, що математичні моделі нараховують інколи сотні змінних і параметрів, вони стають громіздкими і коштовними, а їх створення можливе лише на базі багаторічних досліджень великих груп вчених. Тому, виникає типова ситуація «прокляття розмірності»: спрямування до більш точного розгляду екосистеми штовхає на збільшення кількості врахованих факторів та процесів. Проте чим більше їх містить модель, тим складніше з нею працювати, стверджувати про її адекватність. Такі моделі дають помилку, що є наслідком накопичення як суто обчислювальних похибок, так і неточностей у вимірах параметрів та початкових умов, і ці помилки можуть приводити до катастрофічних невідповідностей у модельних прогнозах. Наявність у простих екологічних моделях динамічного хаосу робить його дуже ймовірним.

Щодо методик оцінювання сталого розвитку, то аналіз міжнародних документів показує переважно низький рівень врахування екологічної складової. Нині соціально-економічні індикатори розвитку значно превалюють над екологічними, що доводить невідповідність нинішніх дій міжнародної наукової спільноти задекларованим положенням у галузі сталого розвитку, і неврахування інтересів екологічних систем у розвитку людської цивілізації.

Поряд із погіршенням стану навколишнього середовища, це дозволяє стверджувати про необхідність перегляду існуючих принципів розвитку в бік переорієнтації їх з економічних і соціальних інтересів на потреби природних екосистем, від цілісності і функціонування яких, повністю залежить будь-який аспект існування людства.

Прямий взаємозв'язок економіки та стану довкілля полягає у тому, що деградація екосистемних послуг являє собою втрату основних фондів сучасної економіки. З огляду на це, у 2005 році на Всесвітньому саміті ООН було зазначено, що викорінення бідності, зміна моделей споживання і виробництва, а також охорона і раціональне використання природної ресурсної бази в інтересах соціально-економічного розвитку є найголовнішими і основними потребами сталого розвитку. Питання екологічної безпеки екосистем є пріоритетним під час вирішення проблеми бідності з прив'язкою до конкретних природно-кліматичних умов.

### ***Контрольні запитання і завдання:***

1. Який основний метод оцінки якості навколишнього середовища використовується сьогодні на міжнародному рівні?

2. Дайте характеристику поняття «індикатор».
3. Які глобальні екологічні індекси Ви знаєте? Чи можуть бути вони застосовані на рівні держави чи регіону?
4. Назвіть переваги та недоліки сучасного індексного підходу до оцінки якості довкілля.
5. Що таке «екосистемні послуги»? Наведіть приклади.
6. Яким чином пов'язані «економічне виробництво», «соціум» та «навколишнє середовище»?
7. Що таке «прокляття розмірності» у статистиці?

### **1.13. Якість навколишнього середовища в контексті сталого розвитку біосфери**

- місце екологічної складової у сталому розвитку людства;
- визначення пріоритетів у природокористуванні;
- екосистемні послуги;
- зв'язок понять «екологічна складова розвитку», «екологічна безпека», «якість навколишнього середовища».

Проблема забезпечення та оцінювання сталого розвитку сьогодні є дуже актуальною. Підтвердженням цього є численні офіційні документи різного рівня та наукові роботи вчених багатьох країн світу. Пояснюється це зростанням антропогенного навантаження на біосферу, що найбільш яскраво виявляється через експоненціальне зростання кількості населення та, у більшості країн світу, наслідками екстенсивного ведення господарства. Зокрема у Human Development Report 2014 зазначено, що багато країн, особливо із групи з високим індексом людського розвитку, сьогодні розвиваються шляхом несталого розвитку. Наприклад, зі 140 країн, за наявними статистичними даними, у 82 такий індекс розвитку як «екологічний слід» перевищує глобальні відновлювальні можливості Землі.

Особливо важливим це питання є для України, яка сьогодні намагається знайти оптимальний шлях розвитку в умовах пролонгованого нестабільного економічного, соціального, екологічного стану території держави. Саме ресурсоемність промисловості, відповідно до Національної парадигми сталого розвитку України 2012 року, є однією з основних причин значного негативного впливу людини на довкілля.

Якщо від початку незалежності нашої держави спостерігалися підйоми економічних показників, наприклад у 2000–2007 та 2010–2013 роках, то стан навколишнього природного середовища постійно погіршувався. Тільки темпи цього процесу були різної швидкості. І незалежно від того, які і якої якості програми розвитку в екологічній сфері

приймалися, які люди були на керівних посадах, завжди прослідковувався регрес стану довкілля. Звідси важливо підкреслити – економіці ніяким чином не можна надавати пріоритети в розвитку, адже вона є природною складовою сутності людини, яка сама є частиною природи.

Питаннями теоретичного та практичного забезпечення сталого розвитку, гармонійного співіснування людини і природи, займалися такі вітчизняні вчені, як В. М. Згуровський, В. М. Трегобчук, С. І. Дорогунцов, В. М. Шмандій, М. А. Голубець, В. В. Добровольський, І. М. Джигирей, О. М. Ральчук, та багато інших вчених.

Кожен із дослідників по-своєму обґрунтовує роль та місце людини у процесі переходу до сталих моделей господарювання. Однак основною і переважаючою думкою є те, що соціально-економічний розвиток має бути побудований на врахуванні продуктивних можливостей біосфери без порушення її цілісності та закономірностей функціонування на глобальному та локальному рівнях. Зокрема Трегобчук В. М. зазначає, що «природоохоронні, екологічнобезпечні й ресурсозберігальні напрями НТП повинні бути пріоритетними в усіх галузях і сферах економіки».

Одним із ключових висновків міжнародної спільноти, яке покладено в основу даного дослідження є те, що людина – частина природи. У п. а та б Всесвітньої хартії природи вказується на те, що потреби кожної людини можна задовольнити тільки у випадку забезпечення відповідного і безперервного функціонування природних систем, які є джерелом енергії та поживних речовин. Людство значною мірою залежить від тих природних ресурсів, які виробляють екосистеми. У контексті цього, відзначимо п. 7, який дозволив провести паралелі між вимогами Організації Об'єднаних Націй (ООН) до охорони природи та станом справ у вітчизняній нормативній базі. У ньому задекларовано, що при плануванні і провадженні діяльності у сфері соціально-економічного розвитку необхідно належним чином враховувати, що охорона природи є складовим елементом цієї діяльності. У п. 16 сказано, що під час розробки будь-якого плану розвитку, стратегія охорони природи має бути однією із його основних складових.

У документах «Порядок денний на XXI століття» та «Майбутнє, якого ми прагнемо» підтверджено прилеглисть до викладених вище положень. У першому – принципами 4 (для досягнення сталого розвитку, охорона навколишнього середовища має бути невід'ємною складовою процесу розвитку і не може розглядатися окремо від нього) та 25 (світ, розвиток і охорона довкілля є взаємозалежними і неподільними), а у другому – пунктами 1, 5, 6 та 7.



Однак найбільш вагомими, з точки зору значення екологічної складової у розвитку людства, є висновки програми ООН «Оцінка екосистем на порозі тисячоліття» (ОЕ). На відміну від інших документів, у результатах ОЕ викладено основний «екологічний» понятійно-категоріальний апарат, оцінено ступінь впливу змін стану екосистем на добробут людини і визначено наукові основи прийняття заходів, необхідних для посилення природоохоронної діяльності і сталого використання цих екосистем.

Так, у звіті 2005 року «Ecosystem and human well-being: a framework for assessment» визначено, що екосистема – це динамічний комплекс угруповань рослин, тварин та мікроорганізмів і неживого навколишнього середовища, які взаємодіють між собою як функціональна єдність. Вони можуть значно варіюватися за розмірами. Наприклад, тимчасова калюжа, дупло дерева і басейн океану являють собою екосистеми. Аналогічні за змістом формулювання зустрічаємо також у Акимової Т. А., Білявського Г. О., Дедю І. І., Одума Ю., Реймерса Н. Ф. Люди є інтегральною частиною екосистем. Тобто не можна розглядати їх окремо від довкілля.

У «Ecosystem and human well-being: a framework for assessment» подано тлумачення поняття «екосистемні послуги» («ecosystem services»). За визначення ООН, це вигоди, які люди отримують від екосистем. Вони включають забезпечувальні (продовольство та вода), регулювальні (регулювання повітря, посух, деградації земель і захворювань), підтримувальні (грунтоутворення і колообіг поживних речовин) і культурні (рекреаційні, духовні, релігійні та інші нематеріальні вигоди).

Зазначимо наявність тлумачення поняття «екологічної безпеки» у ОЕ, яка є основоположним поняттям у процесі системного аналізу якості навколишнього середовища. Під екологічною безпекою розуміється мінімальний рівень екологічних ресурсів (екологічно безпечний залишок), що забезпечує сталий потік екосистемних послуг. Необхідно звернути увагу на наступний аспект: при поєднанні слова «мінімальний» і словосполучення «екологічно безпечний залишок» зміст екологічної безпеки повністю відповідає вимогам антропоцентричної моделі розвитку людства (коли людина визнана центральним елементом піклування в процесі розвитку), а не сталим моделям природокористування. Останні мають на увазі раціоналізацію та економічну доцільність використання будь-якого природного ресурсу. Тому, при аналізі наведеного ОЕ поняття, виникає інша проблема – не можна спрогнозувати, що буде з екологічною системою, якщо її протягом тривалого часу тримати на мінімумі, необхідному для

продукування певного ресурсу. По аналогії, якщо тривалий час експлуатувати двигун автомобіля на низьких обертах для того, щоб перевезти максимально можливу кількість вантажу, у недалекому майбутньому це призведе до виходу з ладу технічного пристрою.

Поняття «безпека» окремо тлумачиться авторами «Оцінки екосистем» як доступ до ресурсів, відсутність ризику і можливість жити в передбачуваному та контрольованому середовищі. І об'єктом безпеки у цьому визначенні є людина, а не екосистема.

В іншому підсумковому звіті програми ООН («Ecosystem and human well-being: Synthesis») під безпекою розуміється безпечний доступ до природних та інших ресурсів, особисту безпеку і захищеність від природних та антропогенних катастроф. З контексту очевидно, що це визначення «безпеки» також орієнтоване на людину.

У ряді документів підкреслено наслідки від неврахування екологічної складової у процесі планування розвитку. Так, у «Ecosystem and human well-being: a framework for assessment» зазначено, що внаслідок інерції як екологічних, так і людських систем наслідки сьогоденних екосистемних змін можуть не відчуватися протягом десятиріч. Забезпечення сталості екосистемних послуг потребує повного розуміння і мудрого управління взаємовідносинами між людською діяльністю, екосистемними змінами і благополуччям у короткостроковій, середньостроковій та довгостроковій перспективі. Нераціональне управління і відсутність безпеки може підрвати прогрес в економічних, соціальних та екологічних цілях.

У підсумках п'ятої конференції міністрів «Окружающая среда для Европы. Экологическая стратегия для стран Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии: стратегические рамки» (Київ, 2003), говориться про те, що за останні десять років у світі, зокрема і на міжнародному рівні, були прийняті важливі кроки з реформування природоохоронної політики, законів та установ. Однак ці реформи не дозволили вирішити задачу по зменшенню ризику нанесення шкоди здоров'ю людини і деградації екосистем. Тому сьогодні існує потреба в пріоритетизації існуючих природоохоронних планів і стратегій.

Інший бік досліджуваної проблеми сьогодні полягає у тому, що більшість «моделей соціальних систем» фокусуються на економічній ефективності і оптимальності з точки зору технології використання природних ресурсів. Для того, щоб добути природний ресурс і отримати користь від його використання, необхідно не порушувати умов його утворення у довкіллі. Відтак можна казати про тісний взаємозв'язок добробуту людства і безпеки природних систем.

На цей рахунок у 2012 році у Ріо-де-Жанейро була підкреслена необхідність непорушення природних екологічних процесів, які забезпечують підтримку систем виробництва продовольства. Захист природного багатства вже не можна розглядати як один з варіантів. Цей захист повинен прийняти пріоритетне значення, яке в даний час відводиться питанням створення національного багатства або забезпечення нацбезпеки.

Людство, за визначенням В. І. Вернадського, ще у першій половині ХХ століття стало «другою (після природи) геологічною силою» в біосфері, діяльність якої значно змінює навколишні ландшафти, кількість та якість ресурсів довкілля. Миркин Б. Г. та Наумова Л. Г. пропонують принцип екологічно безпечного співіснування людини і природи – людина, як один із біологічних видів, не має права на знищення (мається на увазі вимирання) інших. Можна дистанціюватися від природи, але неможливо це зробити по відношенню до тих послуг, які вона надає. Усі вигоди, одержувані від освоєння природи, були досягнуті за рахунок виснаження її ресурсів.

Історія розвитку людства – це історія зміни природних систем планети задля забезпечення ще більш зручного і комфортабельного способу життя та задоволення потреб населення, що постійно зростає. Разом з тим, протягом всієї історії людства ще не було періоду, під час якого зміни в біологічному механізмі нашої планети носили б настільки інтенсивний характер, як у другій половині ХХ століття. Наприклад, об'єм водозабору з річок та озер для зрошення полів, задоволення потреб промисловості та водопостачання домашніх господарств після 1960 року подвоївся. Обсяг води, що огорожена дамбами, за той самий період виріс у чотири рази, і зараз у штучних водоймах міститься більша кількість води, ніж у вільно текучих річках.

Резюмуючи вище наведений аналіз інформації, можна зробити висновок, що необхідність захисту екосистемних послуг навряд чи буде користуватися пріоритетною увагою до тих пір, поки їх використання буде позиціонуватися як безкоштовне і нескінченне. Ефективною буде та політика, яка в контексті всіх економічних рішень буде враховувати пов'язані з ними витрати для живої природи.

Справедливим вважаємо ототожнення понять «екологічна складова сталого розвитку» та «екологічна безпека» з огляду на те, що остання формує базу існування першого, і тією чи іншою мірою присутня у кожній сфері діяльності людини. І найголовніше те, що не зважаючи на появу нових нормативів та стандартів в галузі охорони навколишнього середовища та природокористування, погіршення його стану продовжується. Тому необхідним є обґрунтування пріоритетності

екологічної безпеки в процесі розвитку соціоекосистем та розробка нових методів оцінювання стану навколишнього середовища.

***Контрольні запитання і завдання:***

1. Яке місце, відповідно до тексту міжнародних документів, займає екологічна складова в розвитку людства? Чому саме так?

2. У чому полягає проблема визначення пріоритетів у природокористуванні між господарським комплексом людини і природними комплексами?

3. Що розуміється під поняттям «екосистемні послуги»? Для чого його ввели і з якою метою?

4. Чи є зв'язок між поняттями «екологічна безпека» та «якість навколишнього середовища»? Відповідь обґрунтуйте.

5. Як Ви вважаєте, чи реалізовано на практиці задекларовані принципи системного аналізу у концепції сталого розвитку людства? Який стан цього процесу в різних куточках світу? Відповідь обґрунтуйте.

## МОДУЛЬ 2. ЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОРГАНІЗМУ ЯК ЗВ'ЯЗУЮЧЕ ПОНЯТТЯ В СИСТЕМІ ОЦІНКИ ЯКОСТІ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

---

### 2.1. Класифікація екологічних характеристик

- зв'язуюча ланка між об'єктом і суб'єктом дослідження;
- класифікаційні ознаки екологічних характеристик;
- схема класифікації біотичних екологічних характеристик;
- особливості графічного вигляду екологічних характеристик;
- особливості двоххилих екологічних характеристик;
- особливості однохилих екологічних характеристик;
- сутність крапкової екологічної характеристики.

Будь-який організм, як об'єкт впливу факторів навколишнього середовища, є складною біологічною системою, яка утворена значною кількістю взаємопов'язаних компонентів – органів, елементів і функціональних підсистем. Серед останніх слід вказати на підсистему оперативного регулювання, яка охоплює усі, до найдрібніших часток організму, і першою реагує на будь-які зміни в навколишньому середовищі. Сигнал підсистеми регулювання спричинить дію компонентів організму для адекватного реагування на зовнішні зміни. Загалом, організм переходить в інший режим життєдіяльності, що відображений на його показниках, які характеризують продуктивність, енергоефективність, життєспроможність та його інші властивості.

У теоретичній екології і під час вирішення практичних екологічних завдань, основною зв'язуючою ланкою між об'єктом і суб'єктом дослідження є залежності (1), які доцільно назвати екологічними характеристиками (2.1.1):

$$П = f(\Phi); \quad П = f(\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n), \quad (2.1.1)$$

де, П – показник об'єкта;

Φ – фактор дії суб'єкта.

Доречно вказати, що у медицині для визначення такої залежності використовують словосполучення «доза – реакція» (чи «доза – відгук»).

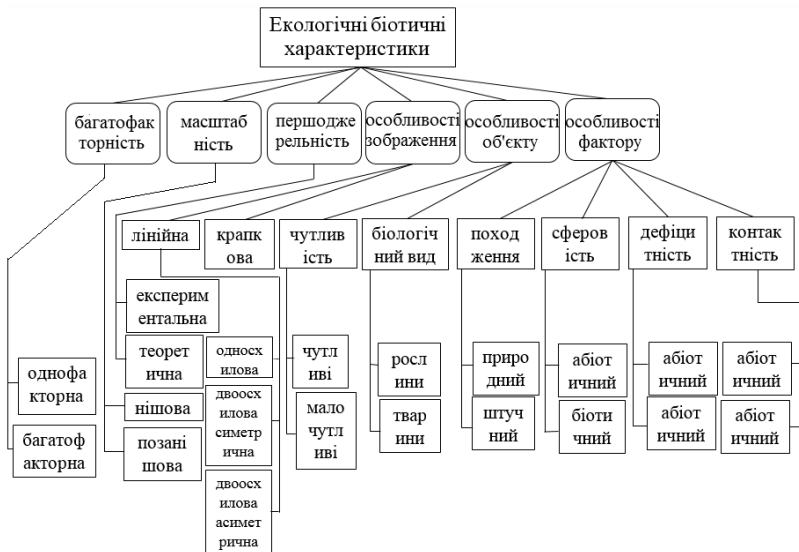
Конкретний математичний вигляд екологічної характеристики залежить від рівня формалізації – характеристика може бути представлена у вигляді таблиці, графіку чи аналітичної залежності (формули).

Деякі приклади використання екологічних характеристик наведені у попередньому розділі посібника, наприклад, на рисунку 1.10.3.

Розглянемо спочатку основні показники, за якими виконується класифікація екологічних характеристик. Перш за все – це тип об’єкта, який може бути абіотичним і біотичним. Ураховуючи, що об’єктом САЯНС є лише живий організм, далі будемо розглядати тільки біотичні екологічні характеристики, без слова «біотичні» – просто екологічна характеристика (ЕХ).

Наступна класифікаційна ознака – кількість дієвих факторів, що враховуються (залежність 2.1.1).

На рисунку 1.8.2 підкреслено таку ознаку екологічного фактору як нішовість. Вкажемо ще на наступні ознаки, пов’язані з особливостями суб’єкта дії: походження (природне, штучне), особливості природної сфери (абіотична, біотична). Ознакою є також геометрична форма графічного зображення ЕХ, яка залежить від властивостей об’єкта (суб’єкта). Дефіцитність (рідкоземельність) природного речовинного фактору – важлива ознака суб’єкта. А для об’єкта – чутливість організму до дії певного екологічного фактору. На рисунку 2.1.1. представлена схема класифікації біотичних ЕХ за шістьма ознаками.

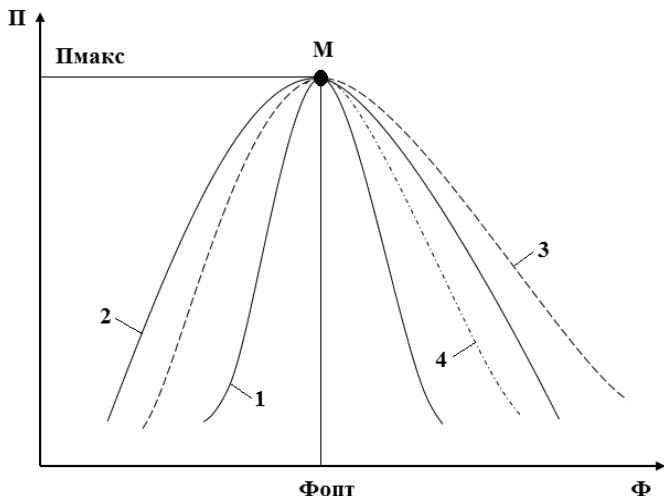


**Рис. 2.1.1.** Класифікаційна схема екологічних характеристик

Продовжуючи приведені вище пояснення, додамо наступне. Як правило, екологічні характеристики будують за фактичними даними, отриманими під час проведення спеціальних експериментальних досліджень, або обробкою статистичних матеріалів.

За відсутності необхідних даних визначається так звана «теоретична екологічна характеристика». Методику побудови екологічних характеристик розглянуто пізніше.

На рисунку 2.1.2 показано варіанти графічного представлення різних ЕХ, указаних на схемі класифікації.



**Рис. 2.1.2.** Екологічні характеристики:

- 1 – двохсильова симетрична чутлива;
- 2 – двохсильова симетрична малочутлива; 3 – двохсильова несиметрична;
- 4 – односильова; М – крапка з необмеженим фактором.

Двохсильові характеристики, як правило, отримані залежностями показників організмів від природних абіотичних факторів: температури повітря і води, вологості повітря і ґрунту, опадів тощо. У цих випадках наявне оптимальне значення фактору  $\Phi$ , коли забезпечується максимум життєдіяльності організму – крапка  $M$  – та зона толерантності навколо оптимуму. Різний діапазон фактору у залежностей 1 та 2 свідчить про різну чутливість організмів.

Односильова характеристика (крива 4 на рис. 2.1.2) свідчить про негативний вплив певного фактору на показники організму – крапка  $M$  у цьому випадку розташована на координаті  $\Phi = 0$ , або близько до нуля. Це забруднювальні речовини, токсиканти, важкі метали, які

недопустимі в середовищі існування організму взагалі, або необхідні йому в незначній кількості.

Крапкова характеристика – це лінійна залежність  $\Pi = f(\Phi)$  в екстремальних умовах  $\Pi = \Pi_{\text{макс}}$  унаслідок необмежених можливостей фактору. На рис. 2.1.1 такі фактори названі необмеженими. Це кількість кисню та інших природних компонентів в атмосферному повітрі, солоність води в певному водоймищі тощо.

Усе сказане вище є справедливим у випадках, коли організм знаходиться у безпосередньому контакті з навколишнім природним середовищем. Але досить частими є випадки, коли організм чи його частина не мають безпосереднього контакту з природним середовищем, а існують у власній ойкумені. Це люди в приміщеннях, тварини в домівках (норах, дуплах, термітниках тощо). Це рослини, що існують в умовах вертикальної ярусності.

У таких випадках доцільно вживати терміни «ярусова» чи «ойкуменна» екологічна характеристика організму.

### ***Контрольні запитання і завдання:***

1. Дати визначення поняттю «екологічна характеристика».
2. Чому екологічна характеристика є основною ланкою у САЯНС?
3. Перелічити класифікаційні ознаки екологічних характеристик.
4. Навести приклади двосхилових екологічних характеристик.
5. Представити графічно екологічну характеристику залежності здоров'я організму від вмісту цинку (йоду, ртуті, заліза) в спожитій воді.
6. Для якого середовища існування організму залежність від наявності кисню відображається односхиловою ЕХ, а для якого – крапковою?
7. Що таке «ойкуменна характеристика»?

### **2.2. Особливості ярусових і ойкуменних екологічних характеристик**

- *особливості ойкуменних екологічних характеристик;*
- *особливості ярусових екологічних характеристик.*

У підрозділі 1.2 було зазначено, що деякі тварини створюють індивідуальне – ойкуменне – середовище постійного чи періодичного перебування, значення параметрів якого відрізняється від загального навколишнього середовища. У дуплі, норі, термітнику, барлозі та інших домівках завдяки життєдіяльності «господаря» створюється довкілля, показники якого не збігаються з параметрами навколишнього середовища поза «ойкумени». Аналогічне явище спостерігається



## **Системний аналіз якості навколишнього середовища**

в лісі, де значення показників повітря відрізняється від аналогічних за його межами.

Указані особливості ойкуменних і ярусових екологічних характеристик враховуються внесенням в рівняння (1) додаткового коефіцієнту впливу на значення фактору  $K_{\phi}$ .

У таблиці 2.2.1, приведені значення  $K_{\phi}$  для оцінки енергозабезпеченості різних вертикальних ярусів кукурудзяного поля.

*Таблиця 2.2.1*

### **Коефіцієнт $K_{\phi}$ кукурудзяного поля**

<b>Листовий ярус рослини</b>	<b>Коефіцієнт <math>K_{\phi}</math></b>	<b>Частина від енергії, що сприйнята рослиною (%)</b>
Верхній ярус	0,34	34
Другий – третій ярус	0,25	25
Четвертий – п'ятий ярус	0,23	23
Шостий – сьомий ярус	0,10	10
Ґрунтова поверхня	0,08	8

У таблиці 2.2.2 показано розподіл сонячної радіації за ярусами бореального змішаного лісу.

*Таблиця 2.2.2*

### **Енергозабезпеченість лісу**

<b>Коефіцієнт <math>K_{\phi}</math></b>	<b>Вертикальний ярус лісу</b>			
	Листвяна крона	Хвойна крона	Кущі	Ґрунт
0,85		0,09	0,03	0,03

Багато даних необхідних для розробки ярусових екологічних характеристик лісу міститься в роботах М. А. Голубця, зокрема, докладно проаналізовані залежності продуктивності від ярусності, яка розглянута на чотирьох біогеогоризонтах: матеріально-енергетичної трансформації (інтенсивної та послабленої) та акумуляції (крово-стовбурної і стовбурної).

Приводяться значення атмосферних показників на різних ярусах лісу. Наприклад, у літній період вдень під наметом лісостану температура повітря на 0,8–1,2 градуси, нижча ніж над кроною, а відносна вологість на 10–16 % вища (77–85 % проти 67–74 %). Випаровування за літо складає 3,7 мм, з яких 0,4 мм приходить на ґрунт і нижній ярус. Крізь крону проходить 4,6–6,7 кДж/см<sup>2</sup> сонячної енергії, тобто 3–4 %.

За даними Д. Гайнріха та М. Гергта до різної різної освітленості в хвойному лісі дерево пристосовується і компенсує нестачу енергії підвищенням коефіцієнту корисної дії фотосинтезу. У ялині хвоя в тіні асимілює CO<sub>2</sub> лише вдвічі менше ніж на Сонці, хоча остання одержує в сім разів більшу кількість світла.

У таблиці 2.2.3. наведено дані вказаних авторів щодо залежності фотосинтезу букового лісу від пори року.

Таблиця 2.2.3

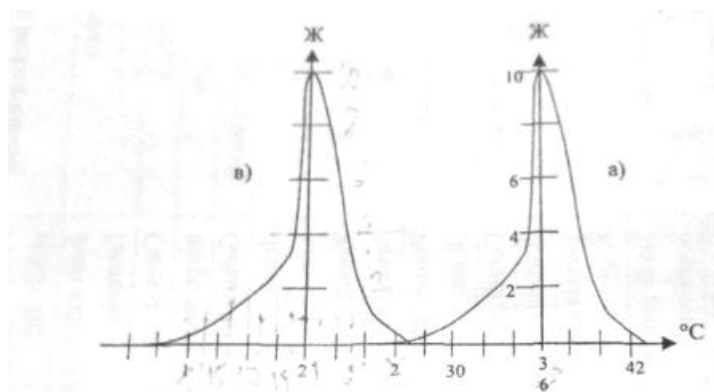
**Асиміляція CO<sub>2</sub> (мг/(г·день))**

Ярус дерева	Місяць року							
	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень
Крона освітлена	0	65	70	80	100	80	65	50
Крона в тіні	0	65	40	50	60	60	50	20

Дані таблиці 2.2.3 підтверджують тезу про саморегулювання ефективності фотосинтезу дерева!

Домівки природних творень різноманітні – від найпростішого пташиного гнізда до високоорганізованого термітника з системами вентиляції, кондиціонування, утилізації відходів біомаси. Розглянемо деякі ойкумені екологічні характеристики людини.

Людина, як найвища за організацією тварина, за багато тисячоліть існування створила безліч засобів життя збільшення комфортності умов у містах проживання, праці, відпочинку.



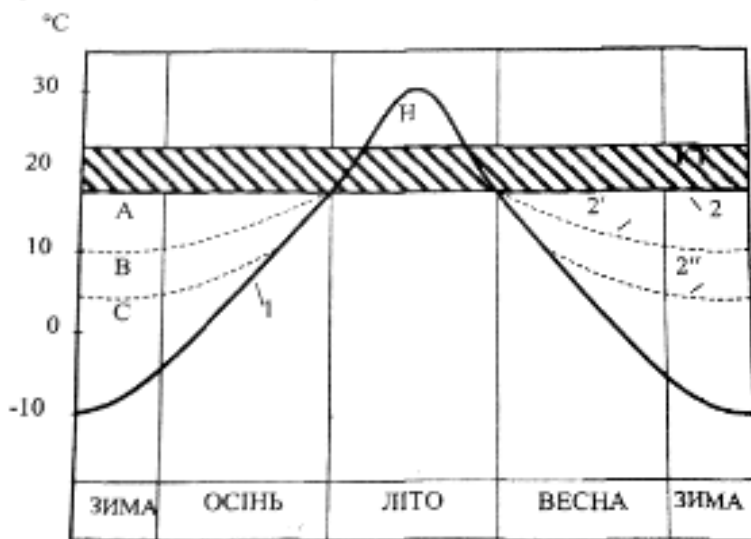
**Рис. 2.2.1.** Залежність життєдіяльності людини від температури а) БЕХЛ, б) ПЕХЛ

На рисунку 2.2.1.а показано залежність активності життєдіяльності людського організму Ж від температури тіла (T<sub>т</sub>), побудована за медичними даними, докладно розглянутими в доповіді «Оцінка рекреаційних властивостей причорноморських територій». Назвемо

цю криву  $Ж = f(T_T)$  біологічною (чи внутрішньою) екологічною характеристикою людини (БЕХЛ).

Завдяки системі теплової саморегуляції людський організм найкраще себе почуває при температурі навколишнього атмосферного повітря  $T_n$  в діапазоні 19–22 °С. Якщо прийняти у якості оптимального значення  $T_n$  21,6 °С, то можна побудувати за законом ( $T_n = T_T$ ) криву ідентичну залежності  $Ж = f(T_T)$  (рис. 2.2.1.б). Залежність  $Ж = f(T_T)$  будемо вважати природною погодною екологічною характеристикою людини (ПЕХЛ) (рис. 2.2.1.б).

На БЕХЛ реперною крапкою оптимального значення температури тіла є  $T_T$  36,6 °С. На ПЕХЛ краще виділяти не оптимальне значення, а оптимальну зону  $T_n$  19–2 та субоптимальні  $T_n$  18–25 °С (за Русановим, 2–24 °С для центральної частини євразійського континенту).



**Рис. 2.2.2.** Температурні залежності:

- 1 – річна середня температура атмосферного повітря  $T_n$ ;
- КТ – зона комфортної температури навколишнього середовища людини (діапазон заштриховано); А – зона утеплення за рахунок одягу;
- В – зона утеплення за рахунок житла; С – зона утеплення за рахунок опалення житла взимку; 2, 2', 2'' – КЕХЛ

Указана зона субоптимальних температур на екологічній абіотичній характеристиці  $T_n = f(\tau)$  для територій середніх географічних широт крива 1 на рисунку 2.2.2 – відповідає коротким періодам на

початку і в кінці літа. Більшу частину року спостерігається небаланс. Між енергетичними природними можливостями і потребами людського організму. Цей не баланс компенсується людьми за рахунок штучних засобів, які на рисунку 2.2.2 показані як «одяг», «житло» і «опалення» Назвемо залежності впливу додаткових витрат енергії на життєдіяльність людського організму комфортними екологічними характеристиками КЕХЛ. Улітку, навпаки, в зоні Н спостерігається надлишок атмосферної енергії, який для створення комфортних умов вимагає штучного втручання у вигляді КЕХЛ «Холод».

Аналогічним шляхом визначаються інші екологічні характеристики людського організму залежності Ж від вологості  $Ж = f(\varphi)$ , тиску  $Ж = f(p)$  і руху повітря  $Ж = f(v)$ .

### ***Контрольні запитання і завдання:***

1. Що таке ойкуменне середовище?
2. Які фактори впливають на комфортність ойкуменного середовища?
3. Що таке ойкуменна екологічна характеристика?
4. Для яких екосистем характерною є ярусність середовища?
5. Що таке ярусна екологічна характеристика?
6. Дайте визначення поняттю «комфортність». Чи відрізняються способи організації комфортного середовища людини та інших живих організмів? Чому?

### **2.3. Живий організм як основний індикатор якості навколишнього середовища**

- *проблема розподілу природних ресурсів;*
- *якість навколишнього середовища та екологічна безпека;*
- *живий організм як інтегральний індикатор стану навколишнього середовища;*
- *місце біоіндикації та біотестування у нормуванні якості довкілля.*

Ученими та організаціями міжнародного рівня неодноразово наголошується на тому, що визначення принципів перерозподілу природних ресурсів (біотичних та абіотичних) між потребами екосистем та людей з їх господарським комплексом є надзвичайно актуальним, особливо в аспектах визначення пріоритету ресурсозабезпечення.

Як зазначено Алимовим А. Ф. (1989; 2000), без вивчення екосистем і розуміння законів їх функціонування неможливим є просування в вирішенні багатьох проблем раціонального природокористування та охорони природи.

Харламова Г. та Нестеренко В. (2014) оцінювання рівня екологічної безпеки пропонується через відповідний індекс (ІЕБ), який визначають на основі певного переліку індикаторів, які більше залежать від соціально-економічних факторів. Адже важко пояснити процес поступового покращення стану екологічних систем з середини 90-х років до сьогодні, яке подано у роботі, поряд з протилежними процесами, які відбуваються на практиці.

У контексті переходу до сталого розвитку регіонів України, Бойко Т. В. та Джигирей І. М. (2017) пропонують інструмент екологічного оцінювання проектів розвитку різномасштабних територіальних утворень та урбоекосистем здійснювати у поєднанні з оцінкою впливу на навколишнє середовище. Оригінальність ідеї, в даному випадку, частково нівелюється за рахунок використання нормативів ГДК.

Прокопенко О. В. та ін. (2014) вводить поняття «екологічного управління безпекою економічної діяльності» і пропонує визначати рівень екологічної безпеки через систему певних економічних показників розвитку бізнес-системи.

Пастернак-Таранушенко Г. А. (2002) екологічну безпеку визначає як напрям забезпечення економічної безпеки держави, призначений для створення населенню країни найбільш сприятливих умов існування та плідного життя.

У дослідженні Zhu J. Та Тао X. (2011) екологічну безпеку ґрунтів пропонується оцінювати методом ентропії на основі теорії нечіткості. Екологічних індикаторів у переліку, що пропонується, лише третина.

Боронос В. Г. та Довга Л. В. (2014) індекс екологічної безпеки регіону пропонують розраховувати як середню геометричну величину часткових індикаторів, що характеризують стан навколишнього середовища окремого регіону. Тут автори пропонують йти шляхом «прокляття розмірності», розширюючи кількість соціальних, економічних та екологічних індикаторів, які охоплюються одним індексом.

Деякі вчені (Потапенко В. Г., 2013) пропонують розглядати екологічну безпеку, як одну зі складових показників економічної безпеки України. Її розрахунок, в даному випадку, полягає у використанні вагових коефіцієнтів для груп екологічних факторів, а індикатор екологічної безпеки має обчислюватися за набором певних нормованих (стандартизованих) показників.

Інший підхід, який пропонується у звіті ООН «Обзор прогресса в решении вопросов, связанных с водными ресурсами: рассмотрение

институционных и правовых вопросов управления водными ресурсами», базується на інтегральному оцінюванні рівня екологічної небезпеки, в основу якого покладено оцінку ризику виникнення екологічно небезпечних ситуацій та міжрегіональні екологічні особливості. Щодо цього, то, на нашу думку, повинна бути більш комплексна методика, а не ризик-орієнтовані розрахунки. З огляду на те, що екологічний ризик найчастіше визначається для одного явища (події) в абсолютній величині, то він скоріше доповнює відповідні методики, ніж замінює їх.

У джерелі Національній парадигмі сталого розвитку України (2012) знаходимо пропозицію оцінювати стан навколишнього середовища шляхом використання міжнародного екологічного індексу Environmental Performance Index. Однак, як було зазначено, жоден з відомих глобальних екологічних індексів не виправдав себе і не здатен належним чином об'єктивно оцінити взаємовідносини у соціоeko-системах.

Нині ж, у контексті усвідомлення неможливості концепції «гранично допустимих значень» забезпечити об'єктивну та повну характеристику рівня екологічної безпеки природного або штучного об'єкта, особливе місце в процесі її оцінювання та забезпечення займають методи біоіндикації та біотестування.

Зокрема Безматерних Д. М. (2007), у контексті біоіндикації екологічного стану солонуватих і особливо солоних водойм півдня Західного Сибіру, підкреслюється необхідність створення нової системи оцінювання екологічної безпеки на основі досягнень факторіальної екології в сфері побудови простору екологічних факторів і виявлення екологічних характеристик організмів на сукупну їх дію.

Як стверджують Крайнюкова А. М. (2009), Орел Д. С. і Мальований М. С. (2008), Петрук В. Г. (2016), Шитиков В. К. (2016), одним із основних напрямів вдосконалення системи оцінювання якості води є використання, під час контролю джерел токсичного забруднення водних екосистем, методів біотестування, які дозволяють в інтегральній формі визначити токсичність води для гідробіонтів і її екологічну безпеку. Ще у 80-х роках минулого століття екотоксикологи дійшли висновку, що аналіз міжвидової мінливості до ксенобіотиків – не тільки їх пріоритетна задача, але й основа для пошуку рішень.

Як стверджує Шитиков В. К., основним предметом дослідження екотоксикології є біологічні системи надорганізмового рівня, які зазнають впливу техногенного забруднення. Звичайно, що загальною теоретичною основою є принципи сталості (збалансованості) і стабільності природних систем, які знаходяться в процесі активного усвідомлення сучасною теоретичною екологією. Це визначає своєрідність

застосовуваних концептуальних підходів і методик екоотоксикології, які оцінюють ступінь порушення популяційних та біоценотичних механізмів.

Живі організми складають величезне різноманіття за таксономічними ознаками, біологічним циклом, фізіології, морфології, особливостям поведінки і географічному розташуванню. Відтак, таким же різноманітним є й відгук різних організмів на токсичну дію. Ці відмінності можуть бути пояснені, наприклад, на рівні організованих механізмів: кінетикою накопичення-поглинання-виведення, внутрішніми факторами ізолювання і біотрансформації, природою біохімічних рецепторів і швидкістю їх відновлення, ефективністю механізмів регенерації і т. ін. При переносі досліджуваного об'єкта в природне середовище на характер біотичного відгуку значною мірою починають впливати абіотичні фактори, харчування, внутрішньопопуляційні та біоценотичні зв'язки.

Прийоми біотестування широко використовуються у багатьох країнах світу (Бубнов А. Г. та ін. (2007); Крайнюкова А. М. (2009); Орел Д. С., Мальований М. С. (2008); Maltby L. (1994)). Так, Бубновим А. Г. зроблено висновок про те, що, наприклад, з допомогою двох видів дафній, декількох видів мікроскопічних одноклітинних водоростей, 5–6 видів риб (як акваріумних так і аборигенних) можна охопити більше 80 % забруднювальних воду речовин, що підлягають контролю.

Водночас, за Шитиковим В. К. (2016), для якісної апроксимації функцій розподілу і невикривленої оцінки порогових концентрацій загальна кількість досліджуваних видів має перевищувати 30 (за іншими оцінками – від 15 до 55).

Проте питання, в цьому випадку, можна поставити таким чином: чи потрібно тестувати тридцять об'єктів на предмет чутливості до певного фактору(ів) для усереднення результатів (апроксимуюча крива саме до цього і прямує) і закладення вже значної похибки. Адже якщо ми отримуємо графічну залежність на базі сотень даних, одні точки (які репрезентують реакцію різних організмів (еври- та стенобіонтних) на токсикант або їх невелику кількість) будуть знаходитись над кривою, інші – під. То, враховуючи це, можна казати про похибку, яка свідомо закладається у змодельовані математичні моделі.

Легко побачити, що чутливість різних видів до дії більшості токсикантів (що оцінюється по  $LC_{50}$  або  $LD_{50}$ ) має чіткий характер варіаційного ряду, розподіленого за логнормальним законом. Таким чином, тест на токсичність кожного виду не є репрезентативною оцінкою для будь-яких інших видів, однак слугує однією зі складових загального критерію чутливості всього біоценозу. Тому, комплексне токсикологічне оцінювання водного об'єкта має включати методи

біотестування, які базуються на використанні реакцій найпростіших, водоростей, дафній, молюсків і риб.

Для визначення ступеня токсичності води, Крайнюкова А. М. пропонує використовувати значення кратності розбавлення, за якої токсична дія нівелюється. Причому визначення якості водного середовища побудоване на вивченні реакції риб та двостулкових молюсків.

Водночас вченими зазначається, що організми-індикатори, які використовуються в якості біотестів, мають відповідати ряду критеріїв, серед яких найбільш вагомими є типовість тест-організму для основних трофічних рівнів досліджуваної водної екосистеми, чутливість до різноманітних токсичних речовин, економічність, доступність і простота виконання заходів біотестування.

Основною вимогою статистики в контексті біотестування є набір таксономічних груп, за якими моделюється Species Sensitivity Distribution, який повинен бути випадковою вибіркою із регіонального фонду видів, які потребують застосування природоохоронних заходів. У деяких випадках оцінка безпечних концентрацій потребує мінімального таксономічного різноманіття до декількох родів чи родин. З іншого боку, види для токсикометричного тесту зазвичай відбираються зовсім за іншими критеріями: наскільки вони підходять для лабораторного експерименту, яка їхня чутливість до токсичних речовин, наскільки взагалі доречно їх охороняти і т. ін. Якщо взяти істину ймовірнісну вибірку з усього багатства біосфери (не включаючи бактерії), то вона, у меншій мірі, на 50 % складалася би з комах. Тому на практиці вихідний набір даних зазвичай представлений доступною інформаційною базою токсикометрії.

Крім цього, у зв'язку з виявленою вибірковістю реакції тест-організмів на вплив різноманітних токсичних речовин, використання якого-небудь одного біотесту для визначення токсичності води вважається недостатньо ефективним і не може слугувати універсальним тестером, однаково чутливим до всіх забруднювальних речовин.

Оскільки акцент у роботі зроблено на водні екологічні системи як найбільш репрезентативний (чутливий) відносно антропогенного впливу компонент природної системи необхідним було дослідити наявні та потенційні шляхи формування комплексу організмів-індикаторів.

Загалом зазначимо, що при розрахунку індексу екологічної безпеки або подібних за змістом індексів, зовсім мало уваги приділяється суті поняття «екологічний», значенню взаємозв'язків абіотичного середовища та живої речовини для безпечного та збалансованого функціонування природних систем.



Оскільки сучасний розвиток суспільства базується на нерозривному комплексному аналізі екологічної, економічної та соціальної складової, залишається актуальним питання, яким чином це зробити так, щоб досягти прогресу, яким чином їх ранжувати.

З огляду на величезну роль живої речовини (біорізноманіття) в біосфері, біотичні компоненти екологічних систем можна вважати найкращими індикаторами комплексних змін у навколишньому середовищі, а оцінку екологічної безпеки необхідно проводити на основі використання їх екологічних характеристик (формалізованих функцій відгуку).

Перевагами такого методу оцінювання стану екосистем є те, що в результаті, на відміну від концепції ГДК, отримуємо узагальнений показник, який характеризує природну систему в часі не точково, а включає історію синергетичних та трансформаційних «взаємовідносин» між факторами середовища.

Тому першим і дуже важливим етапом процесу оцінювання екологічної безпеки є вибір репрезентативних індикаторів. Ураховуючи викладений у цьому розділі аналіз інформації щодо оцінки і забезпечення екологічної безпеки регіону, такими тест-організмами мають бути у першу чергу водні стенобіонти.

На предмет значення гідробіонтів у процесі оцінювання, у роботах Безматерного Д. М. (2007), Хорбута Н. (2007), Шуйського В. Ф. (2002), у зв'язку з посиленням антропогенного тиску на прісноводні екосистеми, обґрунтовано використання макрзообентосу в якості індикатора стану водних систем.

Шуйським В. Ф., наприклад, встановлені і апроксимовані деякі загальні закономірності реакції макрзообентоценозів на багатофакторний антропогенний вплив, з метою його екологічно обґрунтованого нормування і регуляції на рівні гідроекосистеми. Наголошено на тому, що закономірності реакції зообентосу на комплекс зовнішніх негативних факторів можуть бути покладені в основу їх нормування.

Хорбут Н. стверджує про репрезентативність кількісних показників зообентосу (чисельність, біомаса) в контексті оцінки стану водного об'єкта. Однак ніде (в тому числі і закордонних наукових працях) не говориться про значення «ширини» діапазону толерантності водних організмів до комплексної негативної дії або одного фактору, що може впливати на достовірність результатів оцінки.

З-поміж численних видів зообентосу, багато робіт присвячено вивченню екологічних характеристик особин родини *Gammaridae*. Так, рачок *Gammarus pulex* визначено індикатором чистої води у роботах Gerhardt A. (2011), Maltby L. (1994, 2002), Pascoe D. (1995). Крім того,

аналіз наукових робіт Задоєнко І. Н. (1985), Устарбекова А. К. та ін. (2006), Берга Л. С. та ін. (1949) дозволяє стверджувати про його значну роль у харчових ланцюгах внутрішніх вод, а також у Азовському та Чорному морях. У деякі періоди року, наприклад, частка бокоплавів у раціоні осетрових риб та ляща може доходити до 80 %.

Відповідно до Maltby L. (1994) якість водних ресурсів пропонується оцінювати за розробленою шкалою росту бокоплава, тобто за тим, як швидко він росте й розмножується. Крім цього, зроблено висновок, що такий підхід (коли досліджується дія комплексу забруднювачів) виявився приблизно у 8 разів чутливішим до змін у харчовому ланцюзі бокоплава, ніж встановлені значення ЛД<sub>50</sub>. Додамо, що в більшості країн Європи та США на законодавчому рівні *Gammarus pulex* визнано одним із основних тест-організмів для визначення якості навколишнього середовища.

Maltby L. зауважено про значний вплив токсикантів на поведінку амфіпод (харчування, розмноження та ін.), що в подальшому ускладнює адаптаційні можливості організму до стресового фактору. Бокоплав визначається як один із найбільш чутливих до дії ксенобіотика водних організмів. Результатом дії негативного фактору може бути суттєве зменшення популяції виду, що викликає ланцюгову реакцію у харчових та енергетичних ланцюгах екосистеми.

Вплив фактору солоності на прісноводний стенобіонтний вид *Gammarus pulex* представлено в результатах експериментальних досліджень Гуркова А. Н. та ін. (2012), Williams D. D. та Williams N. E. (1998), де рачок гинув через 15 хвилин за солоності 35 г/л.

Особини родини *Gammaridae* є одними з найкращих індикаторів якості водного середовища у зв'язку з наступними показниками: широкий трофічний спектр і швидкість нагулу маси, міграційна здатність і схильність до дрейфу, що дозволяє їм легко колонізувати екосистеми, висока репродуктивна здатність (декілька виводків на одну самку щорічно), а також велика кількість потомства і відносно тривале життя.

Pascoe D. (1995) наводить результати досліджень впливу паразитів у тілі бокоплава на тривалість його життя при різних концентраціях полютанта у воді. Відповідно до цього необхідно зазначити, що дуже часто паразити підтримують життєдіяльність організму рачків, допоки не відкладуть своє потомство чи воно не досягне певного рівня зрілості.

У *Estimating environmental damage in freshwater* (2008) для визначення якості води за The Trent Biotic Index окрім бокоплава запропоновано використовувати веснянок та одноденок.

Так, одноденки (*Ephemeroptera*) зазвичай населяють водойми з солоністю до 2 г/л, однак можуть зустрічатися у водних об'єктах з солоністю від 2 до 10 г/л (Зинченко Т. Д., 2013).

Веснянки (*Plecoptera*) також є суто прісноводними організмами (солоність до 1 г/л) [64]. Однак зустрічаються представники, які витримують значення мінералізації у 4,5–4,8 г/л (Rutherford J. C., Kefford, B. J., 2005).

Волохокрильці (*Trichoptera*) аналогічно до веснянок і одноденок полюбляють швидкотекучі води, збагачені киснем. Встановлено, що при підвищенні концентрації хлоридів і солоності вод більше 1 г/л, відбувається зниження їх видового різноманіття, чисельності і біомаси (Bunn S. E., Davies P. M. (1992), Hart B. T. et al. (1991)), збільшується інтенсивність дрейфу личинок (Kosiora G. et al. (2010)). Однак були знайдені особини, які функціонували у водоймах з солоністю від 2 до 30 г/л. Загалом, критичний рівень солоності для макрозообентосу у річках різних аридних регіонів знаходиться в межах 10-15 г/л (Зинченко Т. Д., 2013).

Враховуючи незначну кількість накопичених даних відносно причинно-наслідкових зв'язків реакцій пристосування одних організмів і відсутності адаптаційної регуляції інших гідробіонтів, для визначення сольової толерантності різних видів необхідними є регіональні дослідження (Attrill M. J. et al., 1996).

Господарська цінність зообентосу підтверджується аналізом результатів досліджень Задоєнко І. Н. (1985) та даними щодо раціону промислово цінних риб (Берг Л. С. та ін., 1949).

Реакція гідробіонтів на забруднювач як інтегральний показник стану водної екосистеми досліджувалась Mazura R., Wagnerb A., Zhou M. (2013). У якості полютанта виступали СПАР, а тест організмом – ставковик великий (*Lymnaea stagnalis L.*).

Варто також підкреслити, що багато наукових досліджень сьогодні акцентують увагу на фітоіндикації (Favasa P. J. C. et al., 2012; Kosiora G. et al., 2010). Петрук В. Г. та ін. (2016), наприклад, у якості біоіндикатора пропонуються макрофіти, що дозволило проаналізувати екологічний стан водного об'єкта, на прикладі річки Південний Буг. У той час як тварини, особливо зообентос, залишаються недооціненими в контексті використання їх для оцінювання якості довкілля (Шуйський В. Ф., 1997).

Підсумовуючи вищевикладене, можна зробити висновок про те, що питання використання видів фауни, особливо стенобіонтних, для оцінки стану (безпеки) водних екосистем потребує подальших досліджень, особливо на регіональному та місцевому рівні. Нині більш теоретично та практично розвиненими є підходи кількісного аналізу

видів і популяцій [6, с. 194] або їх сукупності з подальшою інтерпретацією результатів в системі оцінювання якості довкілля (Баканов А. І. (2005); Fränze O., 2006).

Алимов А. Ф. (2000), у розрізі дослідження закономірностей потоку інформації у водних екосистемах, наводить приклади біотичних індексів, які використовуються з метою оцінки цілісності природної системи.

Також, автором акцентована увага на важливості сталості потоків енергії в екосистемах, які потребують подальшого і більш глибокого вивчення, з метою обґрунтування меж природокористування і оцінки збалансованості структури водної екологічної системи. Підкреслено, що найбільш сталими екосистемами є ті, які мають більше видове різноманіття, в якому домінують стенобіонтні види.

Наостанок зазначимо, що принцип охорони якомога більшої кількості видів є більш консервативним, ніж захист функцій екосистеми. На жаль, екологія поки не може дати чіткої відповіді, як видове різноманіття пов'язане з функціями природної системи.

Ураховуючи думки різних вчених та результати власних досліджень, необхідним є дослідження екологічної вагомості живих компонентів довкілля, розробка нових методів оцінювання екологічної безпеки, визначення екологічних та економічних збитків від втрати чи погіршення стану елементів природних систем за умов збереження існуючих (екстенсивних) підходів до використання природних ресурсів, у першу чергу, з точки зору регіональної екологічної безпеки.

Беручи до уваги висновки «Оцінки екосистем» про те, що основу всіх екосистем становить динамічний комплекс рослин, тварин і мікроорганізмів, біологічне різноманіття є одним з ключових компонентів при оцінці стану екосистем. Відповідно до екосистемного підходу, люди є невід'ємною частиною екосистем. Тому, між людьми та іншими компонентами екосистем існує динамічний зв'язок, причому зміни в стані людей прямо або побічно викликають зміни в екосистемах і навпаки.

Незважаючи на широке використання методів біоіндикації та біотестування в практиці дослідження стану навколишнього середовища, мало вивченим залишається питання критеріїв вибору тест-організмів та методики побудови процесу оцінювання. Тому наступний етап дослідження спрямовано на розробку нового методу оцінювання та забезпечення безпеки екологічних систем. Він полягає в тому, що на відміну від наявних методик оцінки стану екосистем, які побудовані на аналізі кількісних характеристик біорізноманіття, в основі визначення рівня екологічної безпеки соціоекосистеми є використання екологічних характеристик тільки стенобіонтів та просторово-часовий аналіз енергетичної збалансованості (цілісності) водної екосистеми.

### **Контрольні запитання і завдання:**

1. Підходи до оцінювання екологічної безпеки екосистеми: протиріччя та здобутки.
2. Чому використання живих організмів для оцінки якості довкілля частіше розглядають як альтернативу ГДЗ?
3. Яким чином проявляється інтегральність живих організмів у процесі оцінки якості навколишнього середовища (особливо водних екосистем)?
4. У чому полягає зміст методу біоіндикації під час визначення якості довкілля? Проаналізуйте його переваги та недоліки.
5. У чому полягає зміст методу біотестування під час визначення якості довкілля? Проаналізуйте його переваги та недоліки.
6. Чи можуть біотестування та біоіндикація стати повноцінною альтернативою концепції «гранично допустимих значень»?

### **2.4. Нормативний підхід до регулювання рівня антропогенного навантаження: методологічні ніші та шляхи вдосконалення**

- *суть нормативного підходу до визначення якості навколишнього середовища;*
- *концепції «охорони природи» та «охорони навколишнього середовища»;*
- *переваги та недоліки нормативного підходу;*
- *зіставлення ЕХ як один із методів нормування антропо-генного навантаження на довкілля.*

Нині міжнародним та українським екологічним правом використовується концепція забезпечення екологічної безпеки, яка складається з двох частин (підходів): охорони навколишнього середовища та охорони природи. Кінцева мета у них єдина – збереження здоров'я та благополуччя людей. Однак концептуальні підходи різняться. Основи охорони природи формуються зі сторони біосферних процесів, стану природних ресурсів і їх збереження на благо людини; під «охороною природи» розуміється регламентація, обмеження або заборона використання природних ресурсів, недопущення порушення функціонування природних систем. Основи охорони навколишнього середовища формуються зі сторони безпеки і потреб людини; під «охороною середовища» розуміють попередження появи у середовищі проживання людей шкідливих для здоров'я речовин. Вони не можуть бути роз'єднані: забруднення навколишнього середовища наносить шкоду іншим організмам і живій природі загалом, а деградація природних систем послаблює їх можливість до самоочищення. Збереження якості

навколишнього середовища людини неможливе без участі природних екологічних механізмів.

Акімова Т. А. та Хаскин В. В. (1999) аргументовано стверджують про те, що концепція «охорони» хибна від самого початку, оскільки будь-яку діяльність необхідно будувати таким чином, щоб не допускати та попереджати негативні ефекти і результати, від яких потім довелось би «охороняти».

З метою забезпечення екологічної безпеки природних та соціо-природних систем, у більшості країн світу використовується система екологічних стандартів (гранично допустимих значень), основним завданням якої є попередження погіршення здоров'я людини. Однак сам механізм реалізації такого підходу має декілька недоліків, які викликали суттєві похибки у процесі встановлення чисельного значення нормативу:

- експериментальне визначення гранично допустимих концентрацій (ГДК) здійснюється лише на тваринах, організм яких подібний до людського, але не аналогічний. Це, на даний час, основне теоретичне обґрунтування при виборі тест-організму;

- проведення експерименту обмежене в часі, тоді як вплив шкідливої речовини чи забруднювача в навколишньому середовищі може бути значно тривалішим;

- більшість живих організмів екологічних систем мають власні фізіологічні особливості, а ГДК, визначені на піддослідних тваринах, встановлюють для людини звичайним перерахунком: міліграм на кілограм маси тіла;

- допустима концентрація однієї речовини, визначена для людини, може бути в декілька разів завищена по відношенню до інших видів рослин і тварин, які як і людина є невід'ємною частиною екологічних систем і пов'язані з нею потоками речовини, енергії та інформації.

Статюха Г. О. та ін. (2010) та Черкашин С. А. (2001), на підтвердження вище зазначеного, доводять, що більшість сучасних офіційних індексів оцінки стану навколишнього середовища, які засновані на використанні поняття «гранично допустимої концентрації» не забезпечують достатньої «екологічної точності» для опису взаємовідносин у системі «людина-природа» у зв'язку зі значним викривленням підсумкового результату, який, до речі, не є комплексним, а побудований на оцінюванні групи нормативних показників.

У розрізі цього, Акімова Т. А. та Хаскин В. В. пропонують використовувати поняття екологічної техноємності території і нормування техногенного навантаження на нього. Головна думка полягає в тому, що для окремої території її екологічна техноємність об'єктивно дорівнює гранично допустимому техногенному навантаженню. Якщо

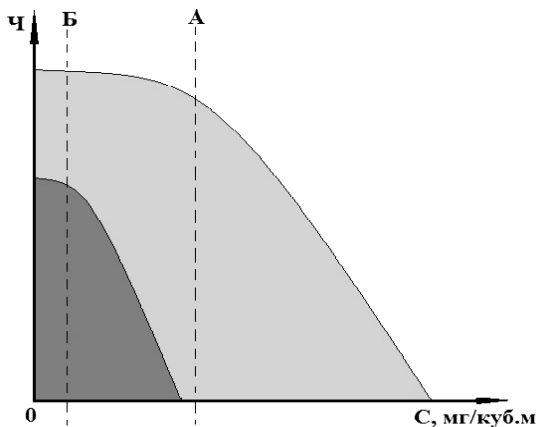
останнє встановлюється як певний норматив, то може відрізнятись від екологічної техноємності території, тому що враховує ще й соціальну цінність об'єктів, що зазнають навантаження. Тому у визначенні гранично допустимого техногенного навантаження можливим є «суб'єктивне свавілля», що залежить від уявлень суспільства, експертів або органу, який затверджує норматив, про вимоги до екологічної обстановки.

За своєю суттю, перевищення ГДК є лише констатацією негативного впливу на природне середовище або якусь його частину. У його значення не закладені втрати енергетичного чи матеріального характеру, що дозволяє стверджувати про не повну характеристику стану об'єкта дослідження. Тому реакція на порушення може бути різною. Найсуворішим на даний момент є відшкодування збитків, які мають йти на вирішення створеної екологонебезпечної ситуації. Тобто замість попередження причин відбувається боротьба з наслідками.

Водночас кількісне визначення окремих токсикантів не дозволяє оцінити ступінь біологічної небезпеки для гідробіонтів сумішей хімічних сполук, які потрапляють у водні об'єкти, через різноманітний характер їх взаємодії, утворення комплексних сполук, утворення в процесі розпаду вихідних сполук більш токсичних речовин.

Крайнюкова А. М. підкреслює, що навіть за наявності інформації про вміст у навколишньому середовищі окремих хімічних речовин, за такого підходу не враховується їх сукупна дія на стан екосистеми.

Некоректність нормативного підходу, коли людина є центром піклування, відповідно до положень ООН, полягає в наступному (рис. 2.4.1).



**Рис. 2.4.1.** Толерантність людини (А) і бджоли (Б) до забруднення повітря

Людина є одним із видів, чиї адаптаційні властивості організму до умов навколишнього середовища є одними із найбільш розвинених. Інакше кажучи, людська зона толерантності до дії будь-якого негативного фактору довкілля (і природного і штучного походження) є більшою по відношенню до більшості інших живих організмів. Виходячи з цього, якщо варіант А стану, наприклад, атмосферного повітря допустимий для людини, то варіант Б – тільки для певних комах, наприклад бджіл. Згідно із законом природи, лімітуючим фактором антропогенного навантаження на атмосферне повітря у цьому випадку мають бути бджоли. Однак на практиці відбувається зовсім інше. У цьому випадку (рис. 2.4.1), використання закону толерантності дозволяє шляхом поєднання екологічних характеристик людини і вразливих організмів визначити межі безпечних концентрацій шкідливих речовин у навколишньому середовищі. Відтак, справедливо буде стверджувати, що синергізм дії зазначених вище аспектів значною мірою не дозволяє на сучасному етапі розвитку України попередити та вирішити екологічні проблеми в соціоекосистемах різного рівня.

Оскільки об'єктом дисертаційного дослідження є екологічна система річки Південний Буг, доречно зазначити наявні методики оцінювання рівня якості поверхневих вод, які репрезентують нормативний підхід до нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище. Найбільш застосовуваними сьогодні є методики оцінки якості води за індексом забруднення води (ІЗВ), комбінаторним індексом забрудненості, методика НДІ ім. Ерісмана з чотирма критеріями забруднення та комплексна екологічна класифікація якості поверхневих вод суші. Їх методологічною основою є значення ГДК. При цьому не важко виявити обмеженість врахування факторів навколишнього середовища у алгоритмі оцінювання. Опрацювання ж деяких практичних наукових робіт, зокрема Лободи Н. С. та ін. (2010) та Манукало В. О. (2012), дозволяє виявити недоліки методологічного характеру: обґрунтування чисельного ранжування класів та їх якісна класифікація.

Зазначимо, що деякі дослідники значну увагу приділяють технічним засобам і прийомам підвищення якості питної води шляхом розробки складних фільтрів і очисних систем (Гумницький Я. М., Петрушка І. М., 2015), однак вони також ґрунтуються на використанні значень гранично допустимих концентрацій.

### ***Контрольні запитання і завдання:***

1. У чому полягає суть нормативного підходу до оцінки якості навколишнього середовища? Зобразіть основне відношення (формулу), яке дає чисельне значення оцінки.



2. У чому різниця між поняттями «охорона природи» та «охорона навколишнього середовища»?

3. Проаналізуйте переваги та недоліки нормативного підходу до забезпечення екологічної безпеки.

4. У чому полягає зіставлення ЕХ людини та інших живих організмів?

### **2.5. Токсико-енергетична екологічна характеристика гідробіоти як інтегральний індикатор якості навколишнього середовища**

- *функція благополуччя виду – екологічна характеристика;*
- *інтегральність відображення антропогенного впливу абіотичним середовищем;*
- *правило заміщення (дублювання) в екосистемі;*
- *алгоритм аналізу токсико-енергетичних ЕХ;*
- *токсикологічна ЕХ живих організмів;*
- *енергетична ЕХ живих організмів;*
- *інтерпретація результатів аналізу токсико-енергетичної ЕХ для оцінки якості навколишнього середовища.*

Покладення в основу оцінювання рівня екологічної безпеки соціо-екосистем функціональної залежності  $P = f(\Phi)$  (де  $P$  – показник об'єкта дослідження,  $\Phi$  – значення впливового фактору або факторів) пояснюється тим, що таким чином можливо досягнути більшого ступеня об'єктивності результатів оцінки стану довкілля, оскільки показники (параметри) підслідного зняті в процесі його життєдіяльності в навколишньому середовищі, що характеризується дією багатьох факторів. Сталість взаємозв'язків біотичної та абіотичної складової буде виступати найкращим індикатором змін у навколишньому середовищі, бо є частиною її об'єктивної дійсності і повністю підкоряється законам біосфери. Таким чином ураховуються принципи системного підходу в забезпеченні екологічної безпеки соціоприродних систем. При цьому, акцент варто робити на забруднювальні речовини антропогенного походження, які є нетиповими для досліджуваної екосистеми або значно перевищують фонові концентрації.

На предмет останнього зазначимо, що у багатьох випадках узагальненою екологічною характеристикою, яка відбиває ступінь сприятливості впливу середовища, є так звана функція благополуччя виду – екологічна характеристика. Вона відображає екологічну потенцію виду відносно цього фактору, а її кількісним виразом можуть служити виживання або реалізована чисельність популяції.

У цьому випадку потрібно підкреслити, що значну увагу треба приділяти ранжуванню і вибору найбільш типових для досліджуваної екосистеми живих об'єктів навколишнього середовища, з метою одержання репрезентативних та комплексних результатів оцінки. Представлення загального стану екологічних систем одним або системою із декількох інтегральних показників пропонується у роботах закордонних (Bolcárová P., Kološta S., 2015; Loomisa D. K. et al., 2014; Sowińska-Świerkosz B., 2016) та вітчизняних науковців (Добровольський В. В., 2010; Згуровський М. З., 2009).

На сьогодні, враховуючи властивості водного середовища, можна зробити висновок про те, що водні екологічні системи є найбільш показовими з точки зору якісної та кількісної характеристики антропогенного впливу на них. Скинута у водне середовище забруднювальна речовина в будь-якому випадку зумовить реакцію елементів екологічної системи в місці скиду чи на певній відстані від нього. На відміну від повітря, для якого характерною є висока здатність розбавлення забруднювальної речовини, її перенесення на значні відстані і значно більший об'єм вертикального переміщення, у воді в будь-якому випадку відбудуться зміни у біотичному середовищі. Будь-який птах, якщо його репродуктивній функції будуть заважати певної сили антропогенні фактори середовища, може мігрувати, з одного регіону в інший. Однак вирезуб, який є реофільним видом, цього зробити не зможе, бо на іншій річці немає необхідних для нього умов середовища. Тому, можемо стверджувати те, що водні екосистеми є певною мірою унікальними для певних територій, а їх екологічний стан – відбиття якості взаємовідносин людини і природи в цьому регіоні.

Відтак, якщо значення біологічного різноманіття для людини важко оцінити в абсолютному значенні, його вагомість можна показати і з іншої сторони – з позицій втрат, збитків від необдуманого і екстенсивного діяльності в басейні річки.

Жодна частина екосистеми не може існувати без іншої. Якщо з певної причини відбувається порушення структури екосистеми, зникає група організмів, вид, то згідно із законом ланцюгових реакцій може сильно змінитися або навіть зруйнуватися вся спільнота. Однак найчастіше, через якийсь час після зникнення одного виду, на його місці з'являються інші організми, інший вид, що виконує подібну функцію в екосистемі. Ця закономірність називається правилом заміщення або дублювання: у кожного виду в екосистемі є дублер. Таку роль зазвичай виконують види менш спеціалізовані, але більш гнучкі та адаптивні.

Стосовно цього існують певні різнотлумачення. За дослідженнями деяких вітчизняних вчених (Голубець М. А., 1997), смерть особини і загибель популяції не спричиняє загибелі екосистеми – вона, як було зазначено, перебудовує свою структуру. Або до неї включається нова популяція, норми реакції особин котрої, її генофонд, вписуються в генопласт екосистеми. Однак інше наукове твердження (Голубець М. А., 2000; П. Тейяр де Шарден, 2002) говорить, що екосистема нормально розвивається і еволюціонує тоді, коли вона ускладнюється, постійно збагачується у кількісному та якісному відношеннях.

З огляду на це, виникають певні розбіжності з біосферним законом ускладнення, адже допускається зникнення елемента екологічної системи.

Осягнути всю складність зв'язків у екосистемі і зрозуміти наслідки від зникнення будь-якого компонента доволі складно, особливо за короткий період часу. Однак, якщо провести паралелі з автомобілем, який також є системою, і прибрати, наприклад, одне із дзеркал заднього виду, то із впевненістю можна стверджувати, що рівень безпеки водія та пасажирів при русі транспортного засобу в результаті зовсім незначного спрощення на порядок зменшиться. Це ж відбувається і в екосистемах. Але це найчастіше не визнається через занадто малу швидкість інколи дуже важливих перетворень (наприклад, еволюції виду), яку не можна виміряти чи підтвердити. Тому робиться висновок, що цього не існує.

У відповідь на зміни в екологічних системах запускається механізм вторинних сукцесій, які мають характер поступового відновлення властивої даній місцевості спільноти після завданих ушкоджень (наслідків буревію, пожежі, вирубки, повені, випасання худоби, забруднення пестицидами, запуску полів). Виникла в результаті вторинної сукцесії клімаксна система може істотно відрізнятися від початкової, якщо змінилися деякі характеристики ландшафту або кліматичні умови.

В основу оцінювання рівня екологічної безпеки соціоекологічних систем має бути покладено вивчення та аналіз екологічних характеристик живих організмів тому, що від безпечного функціонування останніх залежить цілісність і повнота харчового ланцюга, невід'ємною складовою якого є людина. Крім цього, потребує зміни і підхід до використання фактичних даних. Виникає необхідність використання комплексних показників (наприклад, енергетики або продуктивності), які формуються під дією всіх без винятку факторів довкілля, з метою зменшення до мінімуму похибки вимірювань сотень встановлених нормативів до якості довкілля.

Ураховуючи нерозривний зв'язок людини та її господарської діяльності з екологічними системами, в теоретичну основу оцінювання екологічної безпеки соціоекосистеми пропонується покласти неоантропоцентричний підхід. Зазначимо, що основною метою підходу є еволюція людини біосферної в ноосферну, яка буде можливою тільки у випадку збалансованості (гармонійності) взаємозв'язків людини і природи.

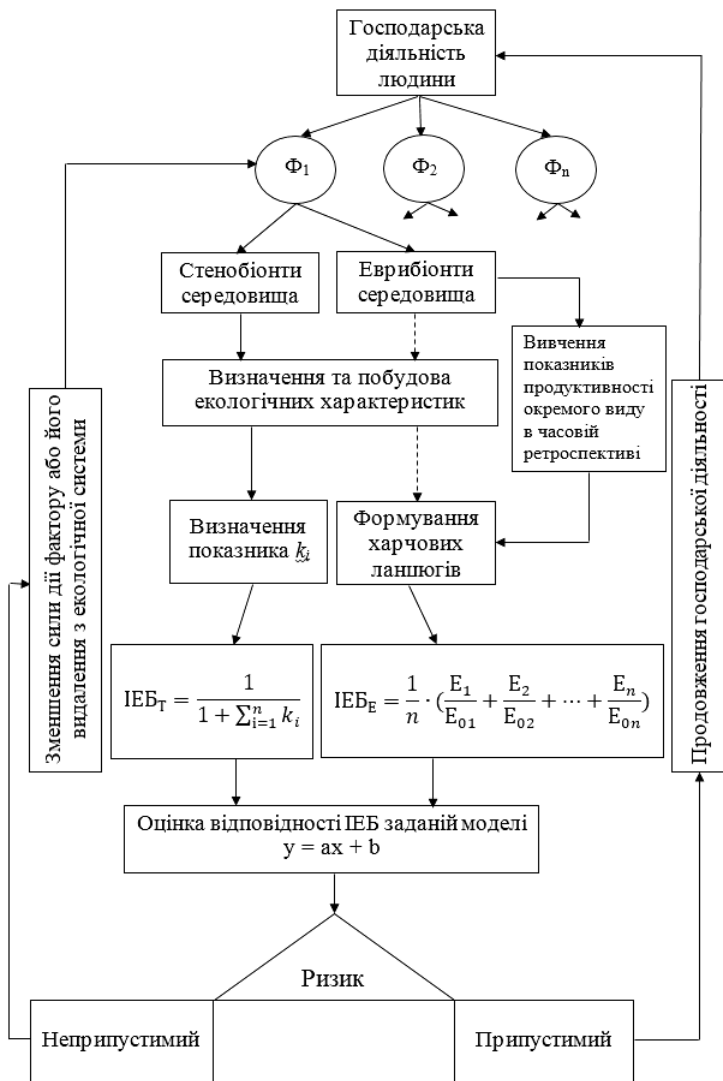
Акімова Т. А. зазначає, що безпека екосистеми визначається близькістю її стану до кордонів стійкості. Ключовими вимогами в цьому сенсі є: збереження розміру і біомаси екосистеми, сталість видового (популяційного) складу і чисельних співвідношень між видами і функціональними групами організмів. Від цього залежить стабільність трофічних зв'язків, внутрішніх взаємодій між структурними компонентами екосистеми та її продуктивність.

Аналогічно до природних, безпеку соціоекосистем у більшості випадків також можна оцінювати за схожим принципом. Наприклад, екосфери і її частин – біомів, регіонів, ландшафтів, тобто більш-менш великих територіальних природних комплексів, включаючи і адміністративний устрій, основним критерієм екологічної безпеки може виступити рівень еколого-економічного, або природно-виробничого паритету, тобто ступінь відповідності загального техногенного навантаження на територію її екологічній техноємності – граничній витривалості по відношенню до техногенних впливів, що ушкоджують.

Для окремих екологічних систем головними критеріями безпеки виступають цілісність, збереження їх видового складу, біорізноманіття та структура внутрішніх взаємозв'язків. Подібні критерії відносяться і до техніко-економічних систем. Нарешті, для індивідуумів головним критерієм безпеки є збереження здоров'я і нормальної життєдіяльності.

Узагальнюючи вище викладене, на рисунку 2.5.1 представлено метод оцінювання господарської діяльності, алгоритм якої складається з 9 кроків (етапів, рівнів) і може бути застосований як до діючих підприємств, так і до тих, які планується ввести в експлуатацію.

Важливо підкреслити, що рівень екологічної безпеки водної екосистеми пропонується визначати через відповідний індекс – індекс екологічної безпеки (ІЕБ). Назва цього показника не є новою і вже використовується у світовій науковій літературі. Однак оригінальним та новим вважаємо запропонований підхід до оцінювання та забезпечення: використовуючи токсикологічний (ІЕБ<sub>Т</sub>) та енергетичний (ІЕБ<sub>Е</sub>) відгуки гідробіонтів водних екосистем.



**Рис. 2.5.1.** Метод оцінювання рівня екологічної безпеки соціоекосистеми (пояснення наведено в тексті)

На першому етапі оцінювання визначаються негативні фактори (від  $\Phi_1$  до  $\Phi_n$ ), які можуть вплинути, або вже впливають на довкілля. Це може бути однофакторний або багатфакторний вплив.

Другий етап полягає в тому, щоб виявити слабкі (найчутливіші) та найбільш репрезентативні (чисельні) види живих організмів. Перші належать до групи стенобіонтів (або стенотопів), які першими реагують на негативну дію фактору(ів), другі – до еврибіонтів. Останні в подальшому можна буде дослідити з позицій їх сталої продуктивності в екологічній системі протягом тривалого часу (ураховуючи попередні наукові дослідження обраних популяцій).

На базі попередніх двох кроків запропонованого алгоритму формуються формалізовані екологічні характеристики об'єктів дослідження від впливового фактору, що є третім етапом оцінки. При цьому для стенобіонтів ця операція є обов'язковою, оскільки в подальшому необхідно буде визначати показник потенційної смертності  $k_i$ . Що стосується еврибіонтних видів, то в цьому випадку більш доцільним вважаємо використання показників загальної (сумарної) чи питомої продуктивності виду у водній екосистемі, з метою їх подальшого узагальнення та інтегрального представлення.

Розкриємо детальніше суть оцінювання ІЕБ на основі екологічних характеристик стенобіонтів. Ураховуючи результати аналізу джерел інформації та власні дослідження, індекс екологічної безпеки для водного середовища (по суті його якість), за токсикологічним відгуком пропонується розрахувати за такою формулою (2.5.1):

$$\text{ІЕБ}_T = \frac{1}{1 + \sum_1^n k_i}, \quad (2.5.1)$$

де  $\text{ІЕБ}_T$  – індекс екологічної безпеки водної екосистеми;

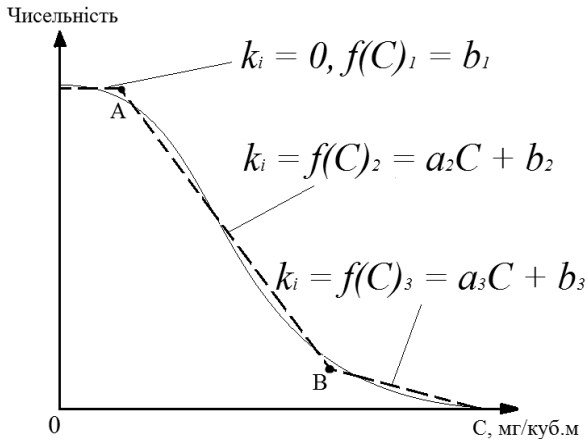
$k_i$  – коефіцієнт можливого рівня смертності живих організмів при перевищенні  $i$ -ої концентрації забруднювача у природному середовищі (має розраховуватися на базі екологічних характеристик стенобіонтів);

1 – значення функціональної цілісності екосистеми – стан «дикої природи».

При цьому  $k_i = f(C_i)$ . Залежність може бути виражена будь-якою математичною моделлю, яка описує криву толерантності організму до впливового фактору.

Розглянемо діапазон значень, які може приймати  $k_i$ , тобто його мінімальне та максимальне значення. У першому випадку, коли вплив антропогенних факторів на організм відсутній,  $k_i=0$  і ступінь виживаності стенобіонтів можна прийняти за 100 % або 1. При підстановці цього значення у вираз (2.5.1) –  $\text{ІЕБ}_T = 1$ , це буде означати функціональну цілісність екологічної системи. У протилежному випадку, коли на стенобіонтів екологічної системи діє один або декілька негативних факторів,  $k_i$  буде приймати значення від 0,1 до 1 ( $0 < \text{ІЕБ}_T < 1$ ), і характеризуватиме певний відсоток смертності дослі-

джуваних особин. Якщо припустити, що  $\sum k_i = \infty$ , то ІЕБ<sub>T</sub> буде максимально наближатися до нуля. Загалом, чим менше значення індексу екологічної безпеки, тим гіршим є стан довкілля. Графічно підхід пояснюється таким чином (рис. 2.5.2).



**Рис. 2.5.2.** Закон толерантності у визначенні складової  $k_i$  ІЕБ<sub>T</sub>

Зазначимо, що застосування правої частини кривої нормального розподілу для визначення  $k_i$  пояснюється тим, що концентрація забруднювача не може мати від'ємних значень і у лівій частині обмежена нулем. Зростання показника смертності пропонується описувати або трьома прямими ( $f(C)_1$ ,  $f(C)_2$  та  $f(C)_3$ ), або за допомогою рівняння Ферхюльста, оскільки криві цього типу (S-подібні) добре описуються логістичною залежністю. Крім цього, можна застосовувати інтегральне числення загалом до екологічної характеристики або до її окремої частини (2.2):

$$S(f(C)) = \int_0^C \sum_{i=1}^3 (a_i C_i + b_i) dC \quad (2.5.2)$$

Основна увага, при використанні лінійної інтерполяції, має бути приділена прямій  $f(C)_2$ , яка включає кінцеву точку (A) зони оптимуму та першу (B) – зони стресу і смерті біотичного об'єкта екологічної системи. Під зоною оптимуму розуміється діапазон  $(-\sigma; +\sigma)$ , а саме частина  $(0; +\sigma)$ , адже концентрація забруднювача не може приймати від'ємні значення. На рисунку 2.5.2 вона відповідає прямій  $f(C)_1$ .

Новизна методу оцінки екологічної безпеки, який пропонується, для водного середовища полягає у тому, що в результаті ми отримаємо не автономне число, яке показує перевищення екологічних нормативів

впливу на довкілля в певному місці, а комплексне, адже в отриманій ЕХ враховано абіотичну та біотичну складову екологічної системи і показано їх зв'язок.

Повертаючись до алгоритму оцінювання екологічної безпеки (рис. 2.5.1), на четвертому етапі для стенобіонтів визначається показник потенційної смертності або формуються харчові ланцюги, з метою визначення сталості продукування екологічною системою природного ресурсу. Так, якщо господарська діяльність у вигляді одного або декількох факторів (які можуть бути підсилені природними або один одним) негативно впливає на довкілля, а нормативні величини цього не фіксують, у природній системі обов'язково відбудуться зміни у продукуванні біомаси певного її елемента.

На п'ятому етапі запропонованого алгоритму можливі дві дії. У першому випадку, оцінка екологічної безпеки побудована на екологічній характеристиці стенобіонтних живих організмів. Такий підхід пояснюється міркуванням про те, що якщо середовище життя є безпечним для найбільш чутливого до діючого негативного фактору організму екологічної системи, то і ризик нанесення шкоди здоров'ю людини буде мінімальним.

Відомо, що людина по відношенню до абіотичних факторів середовища – яскраво виражений еврибіонт. Широта пристосування до різних умов і найширше розселення по планеті досягнуті нею за рахунок уміння технологічно пристосовувати для власних потреб навколишнє середовище, створювати сприятливий мікроклімат. Однак у біологічному сенсі, принаймні щодо температурного чинника, людина, позбавлена мінімальних засобів захисту від холоду (притулку, одягу, вогню) і не володіє хутровим покривом – справжній стенотерм: примат тропічного походження.

Тому, очевидним є факт, що принципи антропоцентризму не можна закладати в методологічну основу забезпечення екологічної безпеки, в тому числі її оцінювання.

Другий варіант п'ятого етапу алгоритму складніший. Якщо невідомо, до якої групи організмів за токсикологічною реакцією належить той чи інший живий елемент екологічної системи, виконується оцінювання енергетичних втрат у харчовому ланцюзі для кінцевого споживача – людини. В основу пропонованого підходу покладено висновок про те, що сумарна біомаса стабільної екосистеми відносно постійна. Тому цінними для аналізу причинно-наслідкових зв'язків погіршення рівня екологічної безпеки в будь-якій екосистемі є історичні дані досліджень цих систем, у тому числі якісного та кількісного характеру.



Відомо, що при переході від одного трофічного рівня до іншого частина доступної енергії не сприймається, частина віддається у вигляді тепла, екскрементів, а частина витрачається на дихання. У середньому при переході з одного трофічного рівня на інший загальна енергія зменшується приблизно в 10 разів («правило 10 %»). Чим довше харчовий ланцюг, тим менше залишається у кінці доступної енергії. Тому число трофічних рівнів ніколи не буває занадто великим. Зазначимо й про те, що складові  $K_2$  та  $K_3$  не є графічним відображенням суто одного виду організму в харчовому ланцюзі, а можуть включати систему з двох або трьох видів.

Доцільно буде зазначити, що згідно з законом розподілу деструкції органічної речовини між різними групами організмів для великих консументів допустимим є вилучення не більше 1 % щорічної продукції біосфери («правило 1 %»). Сьогодні ж людство у багато разів перевищило природний «норматив», техносферний колообіг речовин істотно розімкнутий і в кількісному, і в якісному відношенні. Оскільки техногенний масообмін становить помітну частину глобального кругообігу речовин, своїм розімкненням він порушує необхідну високу ступінь замкнутості біотичного колообігу, яка вироблена в процесі тривалої еволюції і є найважливішою умовою стаціонарного стану біосфери. Це свідчить про порушення біосферної рівноваги, глобальну екологічну кризу.

Тому цілком обґрунтованим є використання методу оцінювання екологічної безпеки екосистеми, побудованому на енергетичних колообігах, є актуальною задачею. При цьому на продуктивність кожного виду, популяції чи організму впливає увесь комплекс факторів довкілля. Щодо показників гранично допустимих концентрацій, то добре відомим є факт, що у довкіллі дія шкідливих речовин, концентрація яких не перевищує норматив, може бути підсилена іншими факторами середовища і згубно впливати на елементи екологічних систем.

Повертаючись до запропонованого алгоритму оцінки екологічної безпеки (рис. 2.5.1), зазначимо, що величини від  $E_1$  до  $E_n$  характеризують сучасні показники чисельності або щільності живих компонентів певного виду в екосистемі, а від  $E_{01}$  до  $E_{0n}$  – історично зафіксовані та прийняті за «еталонні» значення показників чисельності (щільності) живих компонентів певного виду в екосистемі.

У результаті антропогенної дії змінюються об'єми (здебільшого зменшуються) продукування органічної продукції рослинами  $P$  і, як наслідок, її потоки в загальній структурі певного харчового ланцюга для кожної наступної ланки  $E_n$ . У якості прикладів таких негативних дій на різні складові харчового ланцюга можна привести замори риби,

вплив на водну товщу в плані зменшення її властивостей світлопоглинання та світлопропускання, що одразу ж позначається на об'ємі первинної продукції автотрофів водойми.

Зазначені зміни покладено в основу другого варіанту визначення *ІЕБ* території, якщо невідомі стенобіонтні види або їх кількість невелика. На базі історичних даних, коли екологічна система була не порушена людиною, обирається еталон енергетичної ємності  $E_0$  і за ним продовжується розрахунок. Конвертування живої речовини в одиниці енергії пропонується спираючись на численні дані енергетичної ємності харчової сировини в літературних даних.

У випадку, якщо значення  $E_n$  не є відомим (тобто сучасний показник продуктивності, виражений сумарними або питомими значеннями), треба використовувати шлях алгоритму через екологічні характеристики. Знаючи або визначивши екологічну характеристику виду на активний негативний фактор антропогенного походження на досліджуваній території, можна визначити біомасу або чисельність досліджуваних організмів і використовувати ці показники на шостому етапі запропонованого алгоритму.

Доцільність виконання розрахунків таким чином пояснюється тим, що енергія, на відміну від грошей, є універсальним оціночним критерієм, який не втрачає своєї вагомості з часом. Іншими словами 1 кілограм меду містив однакову кількість енергії і в 1700, і в 2015 роках. Акімова Т. А. на цей рахунок зазначає, що величини природної ємності виробничої території та екологічної техноємності території можуть бути виражені масою речовини, стандартизованої за небезпечою (токсичністю), а також мати енергетичний або грошовий вираз. При загальних модельних оцінках кращим є енергетичний підхід. Відтак вважаємо можливим використання даних сумарного (за квартал, півріччя, рік) видобутку ресурсу, або динаміку зміни його густини у середовищі. Наприклад, у 1980 році у Дніпро-Бузькому лимані було виловлено близько 9 тис. тон риби, у той час як 2012 – лише 3 тис. т.

У 1951–1955 роках в Дніпро-Бузькому лимані виловлювали в середньому 160 т прохідних риб, у 1976–1979 рр. – обсяг лову зменшився до 31 т, а в кінці 80-х років ХХ століття більшість цих видів опинилися під загрозою зникнення (осетер, білуга, севрюга, пузанок). До зазначеного фактажу варто додати, що тенденції зменшення вилову та кількості риби у водній екосистемі головним чином пов'язані з несталими моделями та підходами до господарювання на ній чи біля неї. Відтак, не можна казати, що занепад риболовецького флоту позначився на об'ємах добування водних біоресурсів.

Навпаки, зменшення кількості останніх є причиною змін в структурі рибної промисловості України.

На шостому етапі алгоритму (рис. 2.5.1), проводиться аналіз відповідності отриманого значення ІЕБ заданій моделі розвитку соціоecологічної системи. Планування розвитку, якому, на протигагу методам оцінки, приділяється значно менше уваги, пропонується здійснювати за прямолінійною функцією, оскільки це твердження вважаємо дотичним до положення Організації Об'єднаних Націй про «поступальний (розмірений) розвиток», а сама функція є досить простою для розуміння та використання. При цьому, особливу увагу звернемо на вільний член рівняння ( $b$ ) та коефіцієнт аргументу ( $a$ ) (рис. 2.5.1), тому що вони характеризують вагомість власне екологічної складової розвитку, а не окремий її елемент (наприклад, обсяг викидів парникових газів, чи площу природно-заповідного фонду регіону). Тобто, враховуючи загальну ситуацію розвитку регіону у визначений період, ці величини будуть змінюватися відповідно до потреб реального часу, щоб в результаті досягнути поставленої мети – чітко визначеного значення ІЕБ. Тому пряма є оптимальним інструментом задання мети розвитку.

Визначення ризиків нанесення шкоди екологічним системам внаслідок ведення певного виду господарської діяльності людини проводиться на сьомому етапі. Зазначимо, що теорія оцінки екологічної безпеки на основі ризиків виникла у Сполучених Штатах Америки у 70-х роках ХХ століття і відтоді розроблено значну кількість методик визначення ризику для кожної окремої ситуації (техногенного впливу). Грунтовні дослідження щодо визначення екологічного ризику викладені у роботах вітчизняних (Звягінцева В. Г., 2009; Качинський А. Б., Лисиченко Г. В., 2014; Орел Д. С., 2008) та закордонних (Альмов В. Т., 2004; Козлитин А. М., 2002; Шмаль А. Г., 2010) вчених. Тому залежно від регіональних (місцевих) умов необхідно проводити відповідні розрахунки.

На цьому етапі дослідження можна стверджувати, що визначення екологічного ризику для водних екосистем описується наступною функціональною залежністю (2.5.3):

$$R = f(N, W, t), \quad (2.5.3)$$

де  $N$  – кількість населення в басейні водного об'єкта або його частині,  $W$  – водність річки (на яку впливають показники водозабору населенням та промисловістю, кількість опадів, температурний та вітровий режим, ступінь зарегулювання річкового басейну та ін.),  $t$  – місяць року. Важливо відзначити, що в цьому випадку екологічний ризик визначається з метою попередження вододефіциту або погіршення якості водних ресурсів, особливо у нижній течії річки, що може

привести до зменшення показників продуктивності досліджуваної екосистеми.

Восьмий етап базується на логічному аналізі отриманих оцінок із подальшим формулюванням висновків про можливість подальшого провадження господарської діяльності, яка характеризується певним набором негативних факторів на навколишнє середовище.

Відтак, на дев'ятому, заключному, етапі експертним шляхом мають формулюватися умови подальшого функціонування підприємства.

Результати від використання запропонованого алгоритму, на нашу думку, будуть більш об'єктивними, оскільки використання показників, які характеризують екологічну систему комплексно (у цьому випадку – часова динаміка енергетики (продуктивності) складових харчового ланцюга, та швидкість і якість реакції найбільш чутливих «рецепторів» (стенобіонтів) довкілля), дозволить значно зменшити значущість похибок вимірювання сотень параметрів стану навколишнього середовища в кінцевому значенні оцінки екобезпеки.

#### ***Контрольні запитання і завдання:***

1. Що таке «екологічна характеристика» живого організму?
2. Яка абіотична складова екосистеми є найбільш репрезентативною щодо характеристики антропогенного впливу на довкілля? Чому?
3. У чому полягає зміст правила заміщення (дублювання) виду в екосистемі?
4. Яким біосферним законом суперечить правило заміщення?
5. У чому полягає зміст токсикологічної ЕХ живих організмів? Яка умова має бути обов'язково забезпечена для отримання комплексного підсумкового значення?
6. Який зміст закладено в енергетичну ЕХ живих організмів?
7. Які вимоги висувуються до інтерпретації результатів аналізу ЕХ з метою оцінки якості навколишнього середовища?

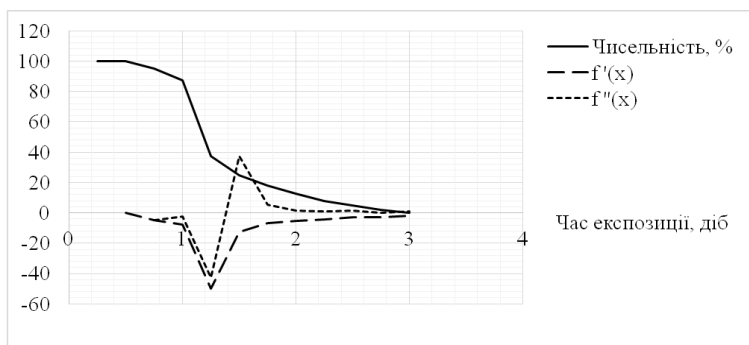
#### **2.6. Системний аналіз якості навколишнього середовища за екологічною характеристикою організму**

- *ЕХ природних та антропогенних факторів;*
- *зони якості організму на ЕХ, відповідно до закону толерантності;*
- *метод диференціювання ЕХ;*
- *визначення зон якості.*

У попередніх розділах було з'ясовано, що біотичні компоненти екологічних систем можна вважати найкращими індикаторами комплексних змін в навколишньому середовищі, а оцінку екологічної безпеки (як безпосередній індикатор якості навколишнього середовища) необхідно проводити на основі використання їх екологічних характеристик.

Відтак, важливим стає визначення зон якості навколишнього середовища, що вважаємо одним з етапів комплексної оцінки екологічної безпеки природної системи та нормування антропогенного навантаження на довкілля. Як було визначено у попередніх розділах, в основу індексу екологічної безпеки покладено використання екологічних характеристик (ЕХ) живих організмів.

Зауважимо, що пропонувані алгоритм оцінки ІЕБ є доцільним у тих випадках, коли розглядаються фактори антропогенного походження (ЕХ представлена правою частиною кривої нормального розподілу (рис. 2.6.1) і розташована в діапазоні від 0 до  $+\infty$ , оскільки концентрація забруднювальної речовини у довкіллі не може бути від'ємною) або природні, на які господарська діяльність людини має значний вплив або від яких залежить (температура, вологість, солоність води тощо) і ЕХ будуть мати вигляд асиметричної (рис. 2.6.2, 2.6.3) чи, рідше, симетричної кривої нормального розподілу.



**Рис. 2.6.1.** Чисельність особин бокоплавів при дії детергенту

Такий одношхильовий вигляд ЕХ має тому, що концентрація забруднювальної речовини у довкіллі не може бути від'ємною.

Оскільки ЕХ стенобіонтів знайти досить проблематично, вирішено використати наявні еврибіонтні для обґрунтування змісту методу нормування.

Вихідними ЕХ для математичного аналізу стали графічні матеріали наведені Щербинюю П. С. (1964) та Дажо Р. (1975), які методом інтерполяції були перенесені в програмне забезпечення MS Excel і там проаналізовані.

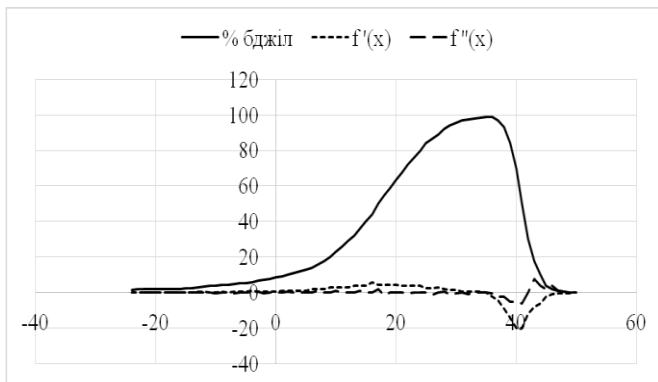


Рис. 2.6.2. Залежність кількості бджіл від температурних коливань

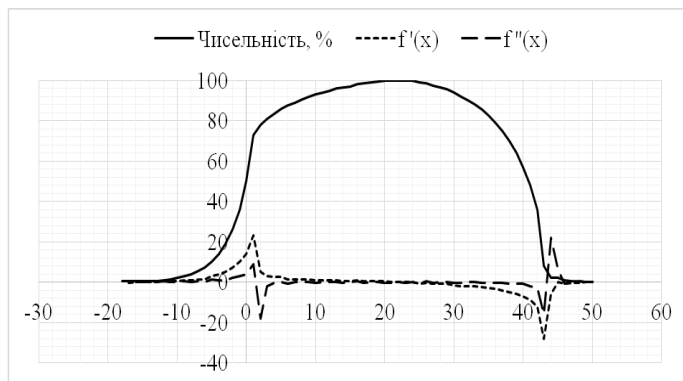


Рис. 2.6.3. Залежність кількості голубів від температури

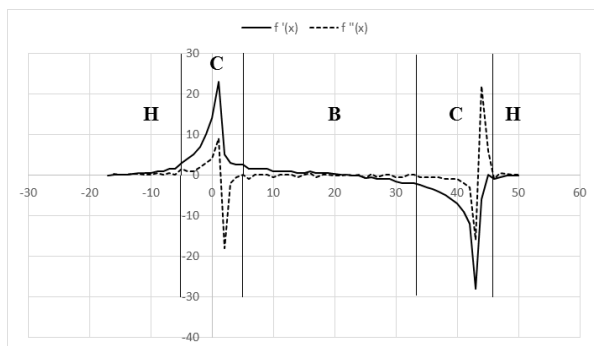
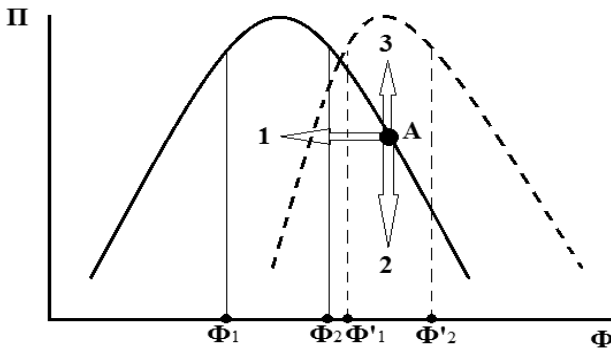


Рис. 2.6.4. Диференціювання ЕХ та виділення зон якості

Для визначення зон якості, пропонується використовувати метод диференціювання функції: отримані перша ( $f'(x)$ ) та друга ( $f''(x)$ ) похідні (рис. 2.6.4) для вихідних даних (рис. 2.6.3) дозволяють емпірично більш точно визначити зони толерантності ( $B$ ), стресу ( $C$ ) та загибелі ( $H$ ).

Особливу увагу варто звернути на зону  $C$ , яка має вигляд двох протилежно направлених «зубців кардіограми» і певним чином (з біологічної точки зору) характеризує адаптаційний динамізм живого організму (виду або популяції) до дії стресового фактору та чітко відділяє зону  $B$  від  $H$ . Пояснити наведену інтерпретацію спробуємо законом еволюційно-біфуркаційного розвитку, коли верхня межа зони  $C$  має мінімум три варіанти подальшого розвитку (рис. 2.6.5): перехід до зони  $B$  та стабілізація стану (1), загибель при потраплянні у зону  $H$  (2) та адаптація до дії негативного фактору(3), зокрема і шляхом мутацій з утворенням альтернативної ЕХ.



**Рис. 2.6.5.** Якісна схема аналізу розвитку ситуації в зоні середньої якості (точка  $A$ )

Знаходження прискорення функції ( $f''(x)$ ) вважаємо доцільним для більш точного виокремлення означених зон. Апробацію пропонованого методу здійснено на ЕХ сонечка (рис. 2.6.6) (Лобанов З. М., 2009), коника (рис. 2.6.7) (Бигон М. та ін., 1989), колорадського жука (рис. 2.6.8) (Артем'єва З. С. та ін., 2013), кукурудзи (рис. 2.6.9) (Красильников Н. А., 1974).

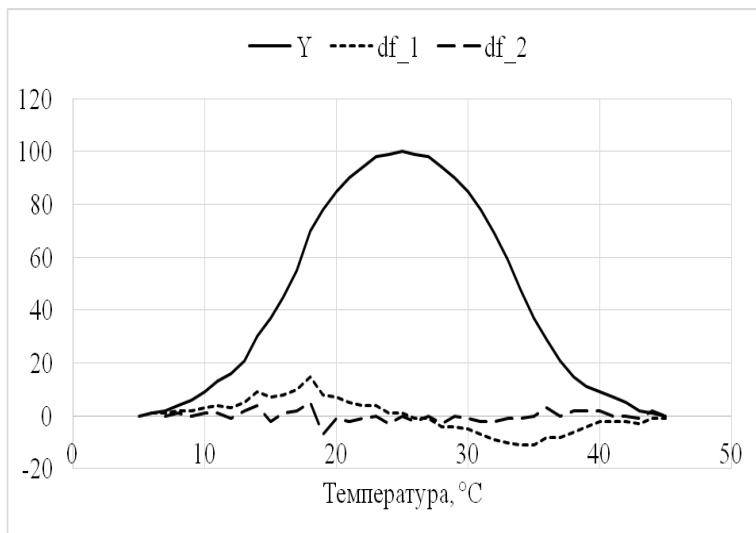


Рис. 2.6.6. Залежність чисельності сонечок (Y) від температури

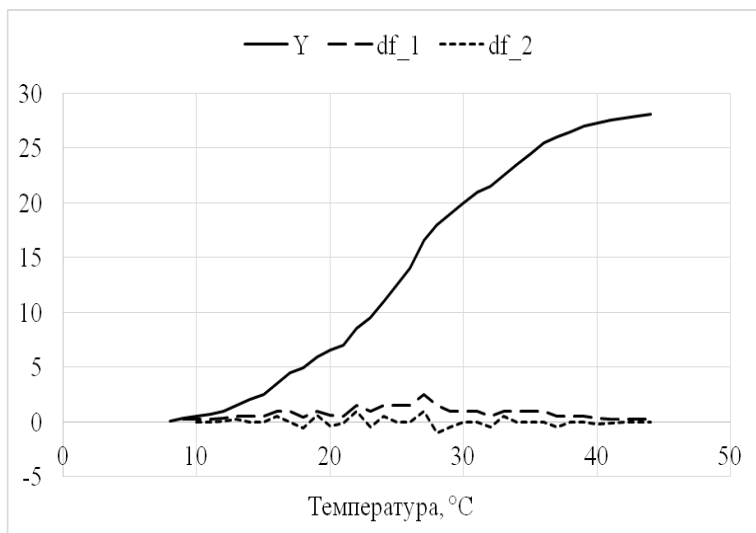
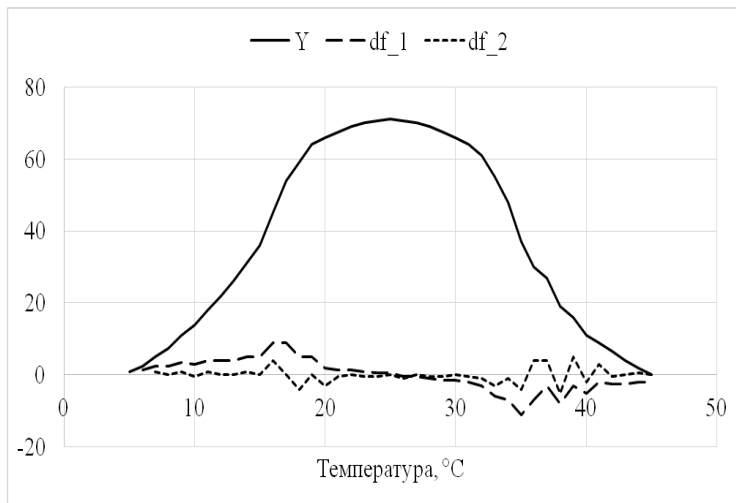
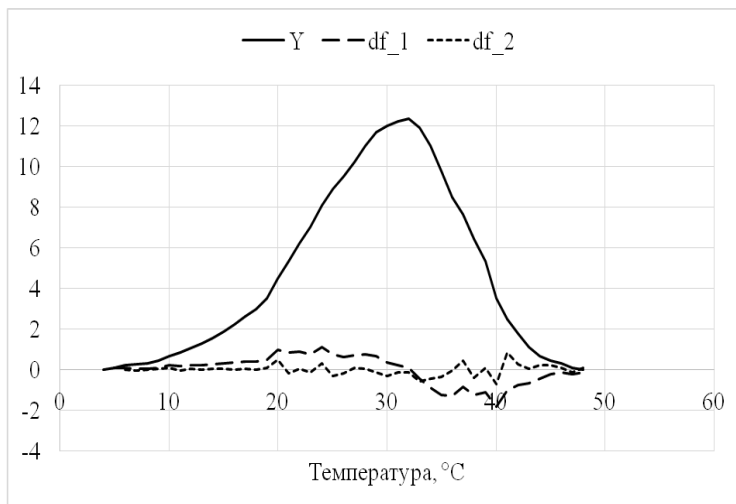


Рис. 2.6.7. Залежність чисельності коника *Austroicetes cruciata* (Y) від температури





**Рис. 2.6.8.** Залежність чисельності колорадського жука (Y) від температури



**Рис. 2.6.9.** Залежність інтенсивності росту кукурудзи (Y) від температури

Усі наведені ЕХ мають вигляд асиметричної кривої нормального розподілу, типової для нішоутворювальних факторів: температура, вологість, освітленість. Тобто є один оптимум, по дві зони стресу і

загибелі. У цьому випадку їх аналіз методом диференціювання є корисним і з точки зору певних галузей господарства, і в контексті розробки й обґрунтування пропонованої теоретичної бази забезпечення екологічної безпеки територій.

Підкреслимо, що подібного роду екотоксикологічні дослідження на регіональному рівні майже не ведуться, що актуалізує запропонований метод.

Загалом, використання методу диференціювання для аналізу визначених ЕХ дозволяє вдосконалити методики нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище, поглиблює наявні теоретичні підходи до визначення господарських ризиків та забезпечує належний рівень наукового аналізу стану місцевих (регіональних) екосистем у системі визначення рівня екологічної безпеки.

### ***Контрольні запитання і завдання:***

1. У чому полягає відмінність між природними та антропогенними ЕХ організмів?
2. Чому одностороння правостороння ЕХ не може мати від'ємних значень?
3. Назвіть зміст закону толерантності (оптимальності). Яким чином за цим законом класифікуються умови життя організму у навколишньому середовищі?
4. Яким чином застосовується метод диференціювання при аналізі ЕХ живих організмів?
5. Який зміст закладений у першу та другу похідні ЕХ?
6. Яким чином визначаються зони якості фактору методом диференціювання ЕХ?

### **2.7. Багатофакторні екологічні характеристики**

- *географічні хвилі життя;*
- *вплив випаровуваності з поверхні;*
- *вплив кліматичних факторів на людину;*
- *двофакторна екологічна акустична характеристика.*

У реальному житті організм, як правило, відчуває вплив не одного окремого екологічного фактору, а одночасно декількох, сумісна дія яких проявляється синергетично. Найпростіше цю інтегральну дію двох чи більшої кількості факторів визначити узагальнено, наприклад, у вигляді рівняння фотосинтезу для рослин (1):

## Системний аналіз якості навколишнього середовища



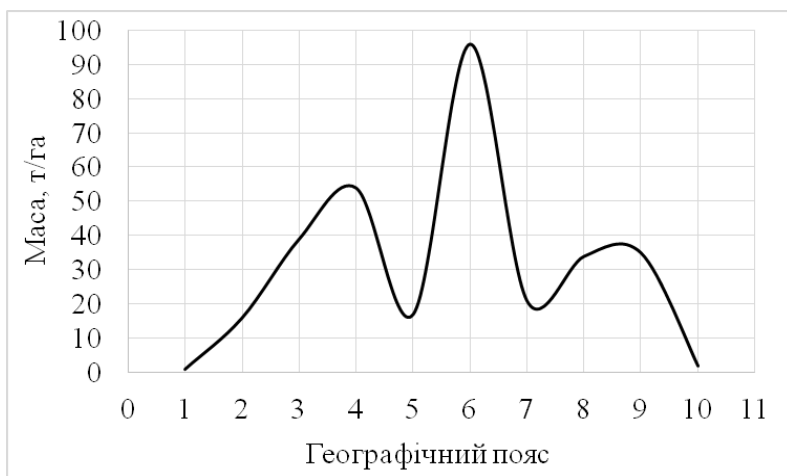
де, 674 кал відповідає кількості світлової сонячної енергії  $E$ , що перетворюється в біологічну енергію рослинної речовини.

На базі рівняння (1) визначаються дві екологічні характеристики:

- залежність фітопродуктивності:  $\text{ПФ} = f(\text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2, E)$ ;
- залежність газової кисневої продуктивності:  $\text{ПК} = f(\text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2, E)$ .

Оскільки вміст  $\text{CO}_2$  в приземному шарі атмосфери завжди достатній для здійснення фотосинтезу рівняння (2.7.1) стає двофакторним.

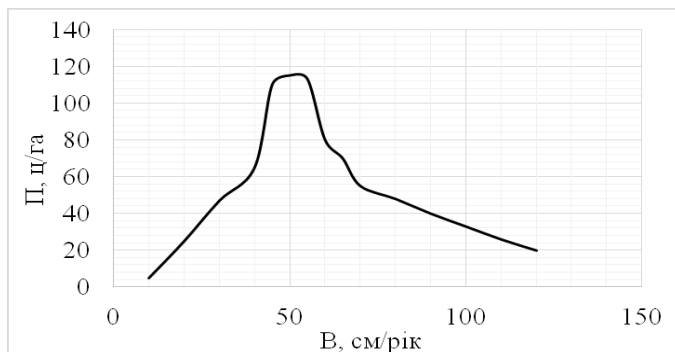
На рисунку 2.7.1 представлена залежність  $\text{ПФ} = f(\text{H}_2\text{O}, E)$  для суходолу планети, яку часто називають «географічними хвилями життя».



**Рис. 2.7.1.** Маса вологої живої речовини, т/га (за Суєтовою, 1973):

1. Арктичний – 1000 т;
2. Субарктичний – 16000 т;
3. Помірний – 39000 т;
4. Північний субтропічний – 54000 т;
5. Північний тропічний – 17000 т;
6. Екваторіальний – 9600 т;
7. Південний тропічний – 21000 т;
8. Південний субтропічний – 34000 т;
9. Південний помірний – 35000 т;
10. Субарктичний – 2000 т;
11. Антарктичний – «-» т.

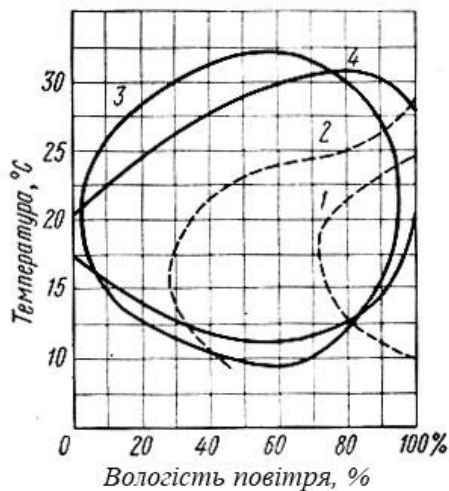
Часто синергетичний ефект дії сонячної енергії і атмосферних опадів оцінюють з допомогою випаровування з водної поверхні. На рисунку 2.7.2 показані дані досліджень Інституту глобального клімату і екології, оформлені у вигляді екологічної характеристики  $\text{П} = f(\text{В})$ , де  $\text{П}$  – первинна річна наземна продукція, а  $\text{В}$  – випаровування з поверхні.



**Рис. 2.7.2.** Фітопродуктивність

На рисунку 2.7.2 добре видно зону кліматичного оптимуму ( $B = 40 \dots 70$  см/рік), що географічно охоплює європейський регіон між південними сухими степами і напівпустелями та північною тайгою і лісотундрою.

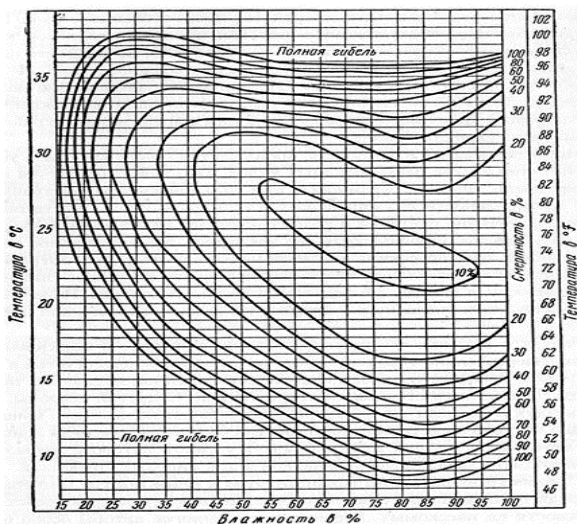
Часто двофакторна екологічні характеристики представляють графічно у вигляді ізоліній у системі координат  $x = \Phi_1$ ,  $y = \Phi_2$ . На рисунку 2.7.3. показано вплив температури і вологості повітря на виживаність яєць волнянок.



**Рис. 2.7.3.** Термогірограма оптимум для яєць волнянок (за Кожанчиковим, 1950):

- 1 – для яєць монашки навесні; 2 – для яєць монашки в осінньо-літній період;
- 3 – для яєць непарного шовкопряда навесні;
- 4 – для яєць непарного шовкопряда в осінньо-літній період

На рисунку 2.7.4 наведена екологічна характеристика лялечки яблуневої плодожерки (за даними Ф. Дрьо, 1976).



**Рис. 2.7.4.** Смертність лялечки яблуневої плодожерки від температури  $T$  і відносної вологості атмосферного повітря

Як вказувалося раніше, екологічні характеристики людини значно різноманітніші, ніж характеристики рослин і тварин. Наукові методи дослідження впливу кліматичних умов на життєдіяльність людини, що використовують в біокліматології, медичній географії, екології та інших секторах знань про людський організм можна поділити на три групи: моделі інтегрального впливу через визначення так званої ефективної температури, методи теплового балансу між організмом і середовищем, оцінка «комфортності» окремих кліматичних показників та їх комплексів в умовних одиницях (балах).

Синергетичний вплив атмосферних факторів у середніх широтах визначає оптимальну зону для людського організму в таких діапазонах:

- температура повітря: 18...22 °С;
- відносна вологість повітря: 40...60 %;
- швидкість вітру: 1...4 м/с;
- атмосферний тиск: близько 760 мм рт. ст.

Система саморегуляції організму в стані спокою стає дуже напруженою при  $t \geq 40$  °С і  $\phi \leq 30$  % (так званий «пустельний день») і при  $t \geq 30$  °С і  $\phi \geq 80$  % («тропічна ніч»).

Однією з двофакторних дій на людину є шум, шкідливість якого визначається як рівнем шуму  $L$ , так і частотою коливань  $f$  (табл. 2.7.1).

Таблиця 2.7.1

Санітарні рівні шуму  $L$  залежно від частоти  $f$

$f$ (Гц)		62,5	125	250	500	1000	2000	4000
L (дБ)	К	70	60	52	46	40	37	34
	Д	80	70	62	56	50	48	46
	В	100	96	89	82	79	75	72

Контрольні запитання і завдання:

1. Поясніть криву «географічних хвилей життя»? Які фактори визначають такий її вид (2.7.1)?
2. Що таке синергетичний ефект?
3. Чому вирішення двофакторної залежності є більш складним завданням, ніж однофакторної?
4. На графіку (рис. 2.7.5) показана залежність смертності соснового коконопряду (*Dendrolimus pini*) (% особин, що вижили) при сукупному впливі відносної вологості повітря (по горизонталі) і температури повітря (по вертикалі). Побудуйте графіки залежності частки особин, що вижили від температури (1) і відносної вологості повітря (2) при певних умовах рівноваги (пунктирна пряма). Укажіть у цьому випадку межі толерантності для виду. За яких величин вологості та температури спостерігаються оптимум і песимум виду? Який з двох факторів буде надавати найбільший лімітуючий вплив на поширення організму і чому?

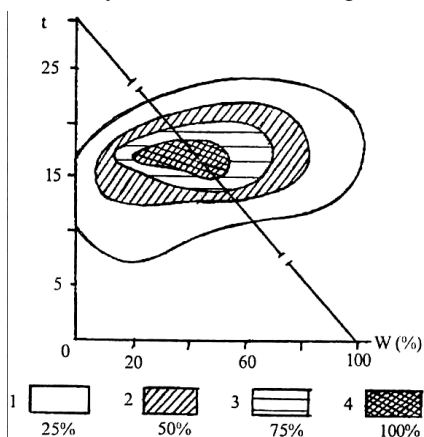


Рис. 2.7.5. Смертність соснового коконопряду залежно від температури та відносної вологості повітря<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Общая экология (биоэкология): методические рекомендации к занятиям и самостоятельной работе для студентов естественно-географического факультета / Авторы-составители: Л. Н. Анищенко, Е. Л. Ковалева, Н. А. Сквородникова. – Брянск : Изд-во РИО БГУ, 2014. – 152 с.

## МОДУЛЬ 3. УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

---

### 3.1. Динаміка якості біосфери

- *біосферні закони;*
- *історичні періоди розвитку біосфери;*
- *людська діяльність і природні колообіги;*
- *глобальні негативні процеси в біосфері;*
- *причини глобальних екологічних проблем;*
- *закінчення ери «дикої природи» в біосфері;*
- *динаміка впливу людської діяльності;*
- *зверхактуальність проблеми якості навколишнього середовища для України.*

Плівка життя на поверхні планети Земля за мільярди років існування міняється відповідно до глобальних закономірностей; жива речовина вдосконалюється, одночасно змінюється і абіотичне середовище.

В останній історичний період, який називається антропогенез, людська діяльність все більше впливає на природний хід подій у біосфері.

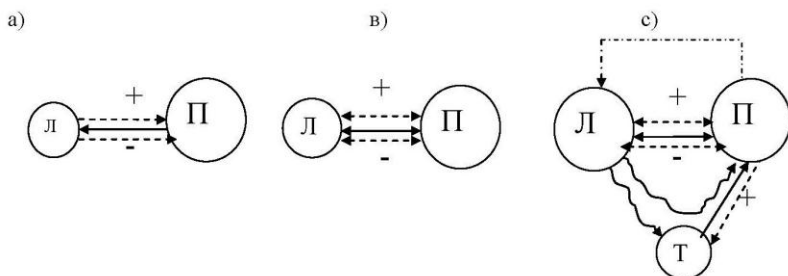
З моменту появи на планеті Ното люди з метою кращого пристосування до умов біосфери почали вивчати її особливості і закономірності. Сьогодні придбані знання по докілью дозволяють твердити про наявність *глобальних біосферних законів*, зокрема таких:

- константності – ніщо не може зникнути безслідно або утворитися з нічого. Матерія знаходиться в постійному русі і може змінювати свій зовнішній вигляд;
- екологічної піраміди, який означає неможливість указаних перетворень без втрат;
- еволюційно-біфуркаційного розвитку, що свідчить про неоднозначність процесу розвитку – еволюційні періоди розвитку будь-чого закінчуються періодами невизначеності (біфуркації);
- динамічної рівноваги, що означає відносність сталого – постійні зміни відбуваються у вигляді коливань навколо усередненого стану;
- різноманіття і конкуренції – прогрес можливий лише за умови конкуренції (змагання) між різними варіантами, наявність яких визначається різноманіттям;

- оптимальності (толерантності, екстремуму) – залежність визначального показника системи від впливового фактору має оптимальну зону;
- емерджентності – складне (система) має більше властивостей (можливостей), ніж проста сума властивостей складових частин за рахунок утворення емерджентних можливостей на додаток, до спадкових.

Людські знання про біосферу і про себе постійно вдосконалюються, але в житті, як правило, практичні взаємозв'язки між людиною і природою, випереджають розвиток наукового обґрунтування.

На рисунку 3.1 схематично показана взаємодія між компонентами біосфери в різні *періоди антропогенезу*. У перший період, назовемо його примітивним (рис. 3.1.1.а)



**Рис. 3.1.1.** Схема взаємодії між людиною і природою

Л – людина (діаметр кола умовно пропорційний кількості людей),

П – природа, Т – техніка (технології),

→ пряма дія;

---→ зворотня дія (реакція) : + пристосування, - опір;

- - - -> реакція бумеранга;

~> зв'язок управління;

а), в), с) – періоди антропогенезу.

Поведінка людей у природі практично не відрізнялася від поведінки інших тварин – люди збирали плоди, ловили рибу, птахів і тварин, жили в печерах. Єдина, але принципова, відмінність – люди використовували вогонь. Перший період тривав більше двох мільйонів років. У будь-якому куточку біосфери, незалежно від наявності чи відсутності людей, на території панувала «дика природа» з повною відповідністю показників навколишнього середовища вимогам живого організму (а точніше – навпаки – за повної пристосованості організмів до умов навколишнього середовища).



Другий період розпочався після агрокультурної революції, тобто приблизно 15 тис. років тому, коли люди, кількість яких помітно збільшилася, змушені були до «дармових» природних дарів додати штучно вирощену їжу у вигляді молока і м'яса з приручених диких корів та кіз, зерна з оброблених та засіяних полів, плодів з посаджених дерев та т. ін. Такі дії змінили векторну картину (рис. 3.1.1.в) – пряма і зворотна дії стали двоспрямованими. На певних ділянках природа з дикої перетворювалася в zdeформовану, з'явилися локальні штучні утворення – поселення, шляхи сполучення, гідроспороди. Але таке крапкове деформування природного середовища мало змінювало обличчя біосфери.

Більш відчутні впливи принесла індустріальна революція, що відбулася в к. XVIII – на поч. XIX ст. (рис. 3.1.1.с). Парова машина, електричний двигун, двигун внутрішнього згорання, турбіна взяли на себе тягар фізичної праці людей, але значно збільшили антропогенний вплив на природне середовище. Схема взаємодій у біосфері принципово змінилася: додалася складова T, на пряму дію якої природне може відповісти лише пристосуванням – протистояти техніці неможливо; з'явилася бумерангова реакція природи, направлена проти людини у вигляді погіршення якості середовища та активізації мікробіологічних представників біосфери; з'явилися зв'язки управління, за допомогою яких люди впливають на дію техніки і природні процеси.

Антропогенна діяльність зосереджена локально, крапково в місцях розташування людських поселень та промислових підприємств. Локальні процеси через *вплив глобальних природних колообігів* поширюються і в підсумку охоплюють всю біосферу. Очевидно, що якість природного середовища погіршувалася пропорційно до збільшення числа земель та інтенсифікації техногенної діяльності і в другій половині XX століття стала відчутною в масштабах біосфери у вигляді глобальних екологічних проблем. З 1972 року офіційно ООН визнані такі глобальні проблеми: збільшення кислотності атмосферних опадів; погіршення динамічної рівноваги природних процесів в озоновому приземному прошарку з перевагою руйнівних над утворювальними; кліматичні зміни внаслідок підсилення природного парникового ефекту за рахунок збільшення викидів «парникових» газів промисловою діяльністю; збільшення рівня радіації.

У документах ООН відмічені також субстратні і зональні проблеми: знеліснення, опустелювання, зменшення біологічного різноманіття, забруднення вод Світового океану, деградація ґрунтів, проблема твердих відходів тощо.

Глобальними *причинами* вказаних проблем є таке: демографічна ситуація, недосконалість наявних технологій і техніки, низька культура більшості людей, споживацька психологія (філософія) сучасного суспільства.

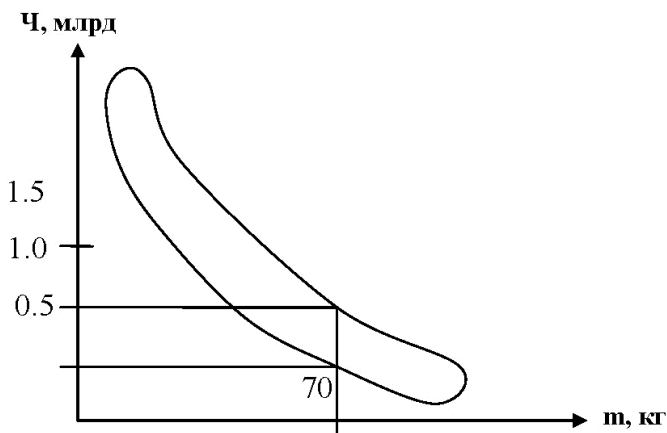
У табл.3.1.1 наведено цифри, що характеризують динаміку демографічних процесів. Усього за антропогенез на планеті народилося 107 млрд людей.

Таблиця 3.1.1

**Демографічна динаміка**

Показник	Рік											
	1100	1300	1600	1800	1850	1900	1925	1950	1975	1985	2009	2015
Населення Землі, млрд осіб	0,1	0,3	0,5	0,9	1,0	1,6	2,0	2,5	3,5	5,0	6,8	7,4

Аналізуючи проблему якості навколишнього середовища звернемося спочатку до її біологічних аспектів. Очевидно, що у якості зразку, еталона слід брати так звану «дику» природу, в якій існує свій непростий «порядок», баланс інтересів. Відносини жителів «дикої природи» підпорядковані певним закономірностям, однією з яких є так звана діаграма «від миші до слона» (рис. 3.1.2)



**Рис. 3.1.2.** Залежність чисельності ссавців від маси тіла організму

## **Системний аналіз якості навколишнього середовища**

Як видно на рисунку 3.1.2, екологічна ніша для людей у «дикій природі» розрахована на 500–1000 млн осіб. Ці цифри відповідають демографічній ситуації на початку XIX ст. (табл. 3.1.1). Таким чином можна вважати, що ера «дикої природи» в біосфері тривала до початку XIX ст., коли співпали дві історичні події – початок індустріальної революції і збільшення числа людей до біологічної межі. Це співпадіння – збіг обставин чи причинно-наслідковий зв'язок? Відповіді немає.

Повертаючись до рисунка 3.1.1, можна твердити, що перший і другий періоди антропогенезу характеризувалися високою якістю навколишнього середовища, коли стан довкілля відповідав вимогам живих організмів, в тому числі і людини. Негативний людський вплив не перевищував можливостей природних екосистем до саморегуляції.

Третій період антропогенезу характеризувався як локальними, так і глобальними процесами стрімкого підсилення негативних явищ у біосфері внаслідок людської діяльності. Усе більше природної речовини вилучалося для технологічних потреб господарської діяльності людей, використовувалися з малою ефективністю і поверталось в природу у вигляді забруднювачів, токсикантів, шкідливих для живого організму речовин. Якість локального і глобального навколишнього середовища невпинно погіршувалася внаслідок неспроможності природних екосистем переробити таку кількість бруду. У якості ілюстрації до зазначеного розглянемо деякі приклади.

У таблиці 3.1.2 приведена *динаміка* споживання деяких природних ресурсів і виробництва продукції.

*Таблиця 3.1.2*

### **Динаміка споживання**

Показник	Рік					
	1900	1920	1940	1960	1980	2000
Вода (км <sup>3</sup> /рік)	650	810	1000	1800	2850	4250
Вода $\frac{\text{м}^3}{\text{рік} \cdot \text{особу}}$	382	426	435	643	770	685
Енергоносії (тон нафтового еквіваленту)			2100	3550	7390	9800
Енергоносії (ТНЕ/особу)			1270	2000	1530	1580
Виробництво сталі (млн т)			142	348	719	780
Виробництво сталі (кг/особу)			62	124	194	126

Дані таблиці 3.1.2 свідчать про наступне. По-перше, збільшення споживання природних ресурсів у XX ст. спостерігалось як в абсолютних цифрах, так і відносно кількості населення. Лише в кінці розгля-

нутого періоду споживання на душу населення почало зменшуватися, що свідчить про дієвість заходів щодо ресурсозбереження. По-друге, використання природних ресурсів в економіці набуло загрозливого характеру для біосфери. Наприклад, безповоротне споживання води перевищує 4000 км<sup>3</sup>/ рік. Для порівняння, всі природні організми з поверненням води в колообіг використовують 22000 км<sup>3</sup>/рік. Тобто, з природного біотичного колообігу вологи вилучається безповоротно майже 20 % води, яка повертається в гідросферу у вигляді скидів сумнівної якості.

*Таблиця 3.1.3*

**Тип ландшафтів території України**

Рік	Тип ландшафту (% від площі території)							
	Ліс	Степ	Орні землі	Водні угіддя	Болота	Луки	Дика природа	Інше
1000	51,0	32,0	7,0	4,0	3,0	0,5	90,0	2,5
2000	15,6	0,5	72,2	2,0	1,0	8,0	19,1	0,7

У таблиці 3.1.3 наведено цифри щодо динаміки ландшафтів, які яскраво свідчать про принципові кардинальні зміни на території сучасної України. У десять разів збільшилась розораність землі, майже зник первинний степ, значно зменшилась площа лісів. За тисячу років територія, що на 90 % представляла дику природу змінилася на індустріально-соціальну, в якій лише 19,1 % умовно можна віднести до «дикої природи».

У таблиці 3.1.4 наведені дані соціоекосистем деяких держав.

*Таблиця 3.1.4*

**Показники держав**

Держава	Щільність заселення території (осіб/км <sup>2</sup> )	Показник використання площі території (%)		
		ліс	сільгоспугіддя	забудовані
Канада	2,6	43,6	6,2	0,5
Швеція	17,8	66,8	8,2	2,7
США	27,7	26,0	53,0	10,0
Греція	75,7	22,7	69,5	3,8
Україна	81,1	15,6	72,2	12,2
Франція	100,0	27,5	56,5	6,7

Як видно, з таблиці 3.1.3 і 3.1.4 Україна відноситься до країн з найбільшим негативним антропогенним впливом, тобто з найнижчою

якістю навколишнього середовища для жителів. Указане свідчить про *зверхактуальність* проблеми управління станом довкілля для України.

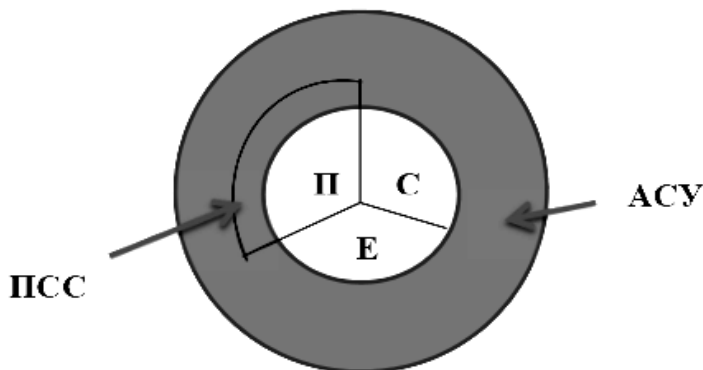
### **Контрольні запитання і завдання:**

1. Які закони належать до біосферних і в чому їх відмінність від галузевих?
2. Перелічити основні біосферні закони.
3. У чому зміст закону константності?
4. У чому зміст закону екологічної піраміди?
5. У чому зміст закону еволюційно-біфуркаційного розвитку?
6. У чому зміст закону динамічної рівноваги?
7. У чому зміст закону різноманіття і конкуренції?
8. У чому зміст закону оптимальності?
9. У чому зміст закону емерджентості?
10. Обґрунтувати особливості взаємовідносин між людиною і природою в першій історичний період.
11. Обґрунтувати особливості взаємовідносин між людиною і природою в другий історичний період.
12. Обґрунтувати особливості взаємовідносин між людиною і природою в третій історичний період.
13. За рахунок чого людство існує в біосфері у період, коли кількість людей перевищила біологічну нішу?
14. Коли в історії біосфери закінчилась ера «дикої природи»?
15. Обґрунтуйте показник, за допомогою якого треба оцінювати динаміку впливу людства на природу.
16. Чому для України стан навколишнього середовища слід вважати надактуальною проблемою?

### **3.2. Рівні і шляхи управління якістю навколишнього середовища**

- *перехід на шлях сталого розвитку людства – кардинальне рішення проблеми якості навколишнього середовища;*
- *природний глобальний геолого-історичний колообіг речовин;*
- *глобальний біосферний колообіг речовин і управлінський вплив на нього;*
- *схема зв'язків у багаторівневій системі управління;*
- *схема балансу «потреби-можливості»;*
- *причинно-наслідковий зв'язок в системі управління;*
- *першочергові завдання управління якістю навколишнього середовища.*

Річке погіршення якості середовища існування людей стало однією з причин ухвалення рішення про перехід на шлях сталого розвитку біосфери. З цього приводу був прийнятий у 1992 році документ ООН «Порядок денний на XXI ст.», який складається з 4 розділів – природа, економіка, соціум і управління процесом переходу. На рисунку 3.2.1 схематично представлені три об'єкти управління в процесі переходу людства на шлях сталого розвитку.



**Рис. 3.2.1.** Схема особливостей об'єктів управління:

П – природна складова; С – соціум (суспільство);

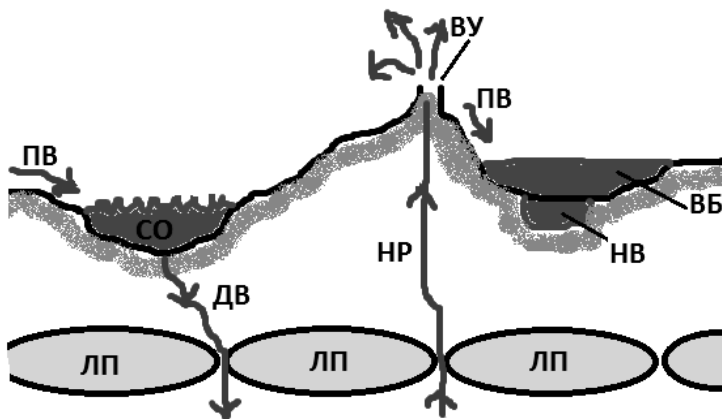
Е – економічна діяльність людей;

АСУ – антропогенна система управління;

ПСС – природна система саморегуляції

Потенційні можливості управління об'єктами сталого розвитку з боку людей різні – якщо компоненти «суспільство» і «економіка» повністю регульовані людьми, то природа має власну систему саморегулювання, а людський управлінський вплив обмежено. І тут фундаментальним є питання – а які саме здібності до саморегулювання має та чи інша екосистема.

Почнемо аналіз з найвищих за ієрархією систем – глобальних. У підрозділі 1.3 вказано, що найбільшою глобальною екологічною системою є біосфера. Але простір колообігів речовин і потоків енергії не обмежується «плівкою життя». Назвемо за аналогією з «біосферою» вказаний простір «геосферою» (рис. 3.2.2). Геосфера виходить за межі біосфери у двох напрямках – у надра планети і в космічний простір.



**Рис. 3.2.2.** Схема абіотичних процесів в геосфері:  
ЛП – літосферна плита; ВУ – вулкан; СО – Світовий океан;  
ДВ – донні океанічні відкладення; ПВ – поверхневі води;  
НВ – надрові відкладення; ВБ – водно-болотні екосистеми;  
НР – надрова речовина.

Надрові абіотичні процеси поділяються на два типи – біосферні колообігові і надрові накопичувальні. Перші утворюють колообіг речовин за схемою (рис. 3.2.2): ПВ → СО → ДВ → надрова переробка → НР → ВУ. Надрова переробка полягає в фізико-хімічному перетворенні суміші речовин в умовах високого тиску і температури, що утворюють океанічний мул внаслідок тривалих скидів з водами річок в НР, тобто в первинні природні речовини. Надрові накопичувальні процеси – це утворення торфу, вугілля, нафти, природного газу внаслідок довготривалої фізико-хімічної переробки відмерлої біологічної речовини.

Космічні абіотичні процеси відбуваються на висоті до 100 км над поверхнею планети. Це, перш за все, розпад молекул води на кисень і водень.

Очевидно, що абіотичні геосферні процеси знаходяться за межами регуляторних людських можливостей і повністю забезпечують саморегуляцію природних процесів. Тому дуже важливим є питання потужності цих процесів порівняно з потужністю біосферних природних і антропогенних процесів. Лосев К. С. вважає, що за історію планети вулкани викинули в 14,6 разів більше води, ніж зараз містить Світовий океан і в 47,2 рази більше газів, ніж маса сучасної атмосфери. Ці

велетенські цифри значно зменшуються з урахуванням мільярдно-річної тривалості процесів, але залишаються відчутними.

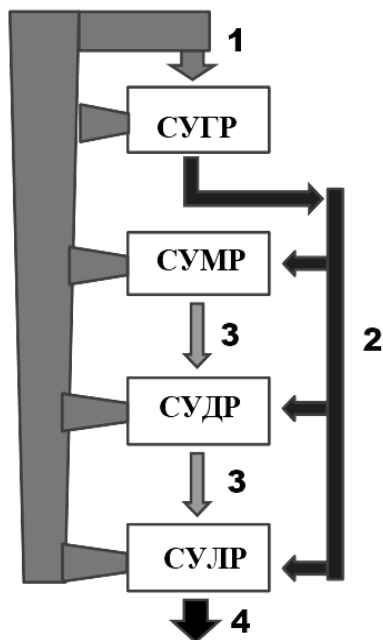
Глобальні біосферні колообіги (або цикли) – це замкнені ланцюги процесів певних речовин у масштабі планети, тобто біосфери, зокрема – води, вуглецю, азоту, сірки, фосфору та інших. Усі вони відбуваються за участі як абіотичних компонентів біосфери, так і живої речовини. Особливе місце належить людині і її техногенній діяльності, місцеві відчутні прояви якої завдяки природним колообігам охоплюють усю біосферу. Раніше, у розділі 3.1 перелічені глобальні проблеми (руйнування озонового шару, кислотність опадів, кліматичні зміни, збільшення радіоактивності), на вирішення яких людство з 1972 року мобілізує ООН. На сьогодні лише щодо першої проблеми спостерігаються позитивні результати управлінського впливу – різке зменшення виробництва хлор-фтор-сполук загальмувало негативні явища в озоновому прошарку. Деякі результати є і щодо проблем кислотності опадів і змін клімату завдяки принциповій зміні енергетичної політики з наголосом на енергозаощадження та використання альтернативних видів палива.

Крім ООН, управління якістю біосфери здійснюють її галузеві підрозділи (ЮНЕСКО, ЮНЕП, МОЗ та інші) і велика кількість міжнародних організацій, які займаються питаннями охорони природи, Світового океану, лісів, землі тощо, забезпеченням людей необхідними споживчими продуктами. Основні зусилля направлені на обмеження негативного антропогенного впливу на природне середовище. Заборонено китобійне полювання, введено обмеження на вилов певних видів риб та птахів, узято під контроль полювання на звірів, обмежено викиди і скиди техногенних забруднень, заборонено транспортування нафти в танкерах без подвійного корпусу тощо.

У міжнародних природоохоронних документах постійно підкреслюється відповідальність держав за стан екосистем локального рівня і за транскордонний вплив на сусідні держави. Завдяки точковому характеру розташування на території конкретної держави джерел утворення забруднювальних речовин екополютанти з часом поширюються біосферним колообігом на значні території і акваторії. Лише конкретними практичними заходами в цих точках можливо підвищити якість локального навколишнього середовища і одночасно позитивно вплинути на стан біосфери.

На рисунку 3.2.3 представлена схема взаємодій систем управління якістю навколишнього середовища різного рівня, на кожному з яких забезпечуються функції екологічного моніторингу, досліджень, розробки і реалізації рекомендацій та контролю результатів.





**Рис. 3.2.3.** Принципова схема зв'язків у багаторівневій системі управління станом навколишнього середовища:

СУ – система управління певного рівня (ГР – глобального;  
МР – міждержавного; ДР – державного; ЛР – локального;)

1 – інформація наукова, методична, статистична;

2 – декларативні і рекомендаційні матеріали;

3 – нормативні і методичні документи; 4 – реальні локальні дії

Якість навколишнього середовища – це відповідність екологічних факторів середовища існування організму його життєвим потребам. Тобто аналіз якості навколишнього середовища передбачає розгляд двох компонентів системи – вимог (потреб) організму і можливостей (показників) середовища, у якому функціонує організм. На рисунку 3.2.4 показана схема взаємодій у такій системі, з якої очевидно два шляхи регулювання – або зменшення потреб, або збільшення можливостей.

Як відомо, процес аналізу передбачає оцінку стану якості на першому етапі (суцільні лінії на рисунку 3.2.4) і управління (регулювання) якістю – на другому (пунктирні лінії на рисунку 3.2.4) у випадку, коли можливості середовища менші, ніж вимоги організму.

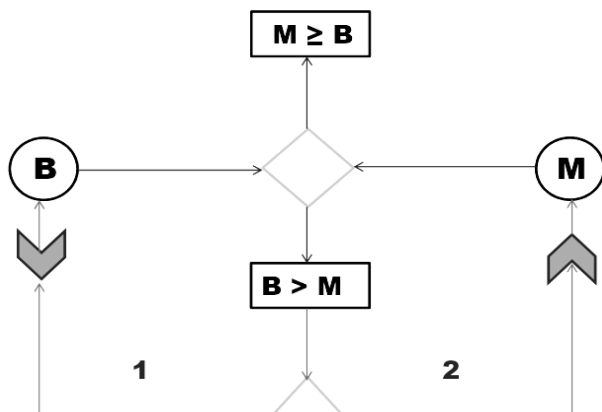


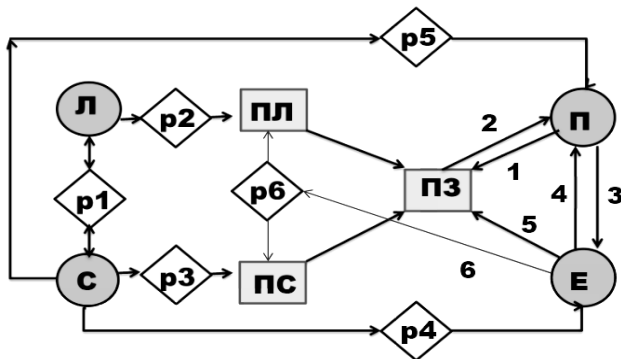
Рис. 3.2.4. Схема аналізу якості навколишнього середовища:

$B$  – вимоги організму;  $M$  – можливості середовища;  $\diamond$  – оцінка (співставлення);  $\blacktriangle$  – вибір шляху (способу) регулювання (управління);  $\blacktriangledown$  – збільшення;  $\blacktriangledown$  – зменшення

Обидва компоненти системи мають кібернетичну властивість – здатність автоматично пристосовуватися до зміни зовнішніх умов у межах динамічної рівноваги. У дикій природі внаслідок багатотисячолітньої еволюції організми різними способами пристосувалися до існування в умовах сезонних змін показників навколишнього середовища. Рослини помірних і холодних регіонів припиняють процеси життєдіяльності в періоди нестачі сонячної енергії. Багато тварин (наприклад, птахи або риби) постійно змінюють місця перебування, мігруючи за «необхідними умовами середовища». Різноманітні засоби різкого зменшення потреб організму в періоди природного дефіциту енергозабезпечення – зимова сплячка, значне гальмування життєдіяльності (анабіоз), регулювання репродуктивного періоду тощо. На рисунку 3.2.4 розглянуто варіант регулювання позначено процесом № 1.

Люди, які на початку антропогенезу нічим не відрізняються від інших істот «дикой природи», після неолітичної революції почали впливати на природне середовище через процес № 2 (рис. 3.2.4). Можливості навколишнього середовища завдяки агрогосподарській діяльності людей збільшилися, що забезпечило збереження умови « $M > B$ », незважаючи на значне збільшення вимог (потреб) внаслідок зростання чисельності людей. Відчутні зміни в процеси на рисунку 3.2.4 внесла індустріальна революція, яка завдяки НТП дозволила

вдосконалювати як можливості природного середовища «М», так і людські вимоги «В». Останні збільшувались з двох причин: зростання чисельності землян і значного збільшення номенклатури потреб кожної людини. Оскільки можливості «М» збільшувались значно повільніше, ніж потреби «В», у другій половині ХХ століття на планеті було втрачено баланс «М = В». Нерівномірне співвідношення їх зростало у вигляді поступового погіршення якості навколишнього середовища існування живих організмів у межах екосистеми, у масштабі біосфери і на рівні більшості локальних соціоекосистем, зокрема.



2. Однією з основних задач системи управління якістю навколишнього середовища слід вважати визначення і врахування можливостей саморегуляції природних екологічних систем. Найактуальнішим питанням тут є визначення ролі організмів – редуцентів і абіотичних «комор».

3. Терміновими управлінськими заходами слід вважати заборону штучного стимулювання людських потреб (зв'язок 6 на рис. 3.2.5) та переорієнтацією НТП з економічних на загальнолюдські ноосферні цінності.

***Контрольні запитання і завдання:***

1. Обґрунтувати зміст схеми на рисунку 3.2.1.
2. У чому полягають принципи відмінності геосферних колообігів речовин від біосферних?
3. Обґрунтувати вибір чотирьох рівнів управління на рисунку 3.2.3.
4. Пояснити, чому на рисунку 3.2.3 деякі міжрівневі зв'язки направлені зверху донизу, а решта – у протилежному напрямку.
5. Перелічити кількість дій екологічного моніторингу на рисунку 3.2.3.
6. Чим варіант  $M \geq B$  кращий, ніж  $B > M$  (рис. 3.2.4)?
7. Навести приклади штучної активізації потреб людини структурами бізнесу.
8. Обґрунтувати висновки, зроблені на завершення підрозділу 3.2.

**3.3. Принципи управління якістю навколишнього середовища**

- *перелік принципів управління;*
- *зміст принципу науковості;*
- *зміст принципу превентивності;*
- *зміст принципу системної цілеспрямованості;*
- *зміст принципу збалансованості;*
- *зміст принципу нероздільності;*
- *зміст принципу екологічної ризикованості;*
- *зміст принципу логістичності;*
- *зміст принципу багаторівневості;*
- *зміст принципу демократизму;*
- *зміст принципу пріоритетності;*
- *зміст принципу законності.*

*Принцип* (лат. *principium* – основа, першопочаток) – основне правило поведінки, керівна ідея, центральне поняття, основа системи, узагальнене положення.

Світовий досвід управління станом навколишнього середовища та регулювання взаємовідносин між людьми і природою дозволяє твердити про необхідність витримувати такі принципи: науковість;

превентивність; системна цілеспрямованість; збалансованість; нероздільність; екологічна ризикованість; логістичність; багаторівневність; демо-кратизм; пріоритетність; законність.

*Науковість*, по-перше, полягає у відмові від використання методу «спроб і помилок». По-друге, управлінські рішення не можуть суперечити дії біосферних законів. По-третє, органи управління повинні використовувати досягнення світової наукової думки, зокрема у вигляді економічного системного прогнозування. І, нарешті, системи управління мусять стимулювати наукові розробки в екології, зокрема в питаннях кібернетики екологічних систем.

*Превентивність* в ранжуванні людських цінностей, з наголосом на гуманізацію людства. Філософія пріоритету матеріальних цінностей повинна поступитися на користь моральних, духовних, культурних потреб людини тощо. Превентивність передбачає пошукове вдосконалення *Homo Sapiens* з рівня біосферного до рівня ноосферного.

*Системна цілеспрямованість* означає, по-перше, що управління якістю навколишнього середовища є складовою системою забезпечення сталого розвитку, як цілі еволюції біосфери. По-друге, необхідно чітко виокремити ціль (мету) управління від засобів досягнення мети – продуктивності праці, інвестицій тощо. При цьому система управління повинна мати здатність пристосуватися до конкретних умов, забезпечуючи цільово-ситуаційний алгоритм дій. Прикладами можуть бути переорієнтація НТП з вузько-економічних задач на комплексну – якість життя людини та перехід на стосунки соціально-справедливого ринку, коли правила взаємовідносин встановлює споживач, а не виробник. По-третє, враховується пріоритетність об'єктів управління, яка сьогодні має наступну шкалу цінностей: біологічні потреби людей, потім потреби природних організмів, за ними – санітарно-господарські та інші потреби і – на останньому місці – господарські потреби бізнесових об'єктів.

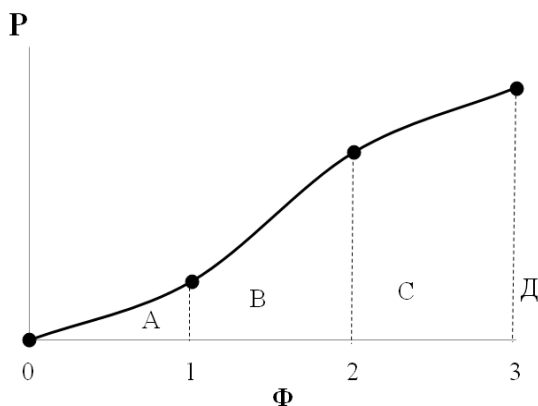
*Збалансованість* – цей принцип полягає в необхідності мати в біосфері баланс між споживанням природних ресурсів людством і природною репродуктивністю екологічних систем. Сьогодні цей баланс не витримується – антропогенне споживання перевищує можливість самовідновлення, що знайшло відображення в значенні так званого «людського сліду». Саме забезпечення такого балансу є однією із задач парадигми сталого розвитку. Існує думка, що однією з умов забезпечення глобального балансу є зменшення антропогенно-змінених територій з доведенням площі «дикої природи» до 50 % земної суші.

Принцип *нероздільності* регулювання і контролю вимагає особливого пояснення в зв'язку з наявною тенденцією в Україні саме до розподілу цих двох функцій як на державному, так і на місцевому рівні між двома окремими організаційними структурами. Пояснюється це

намаганням подолати корупцію в системах управління під гаслом «не може одна установа і видавати умови функціонування і контролювати виконання цих умов. Це повинні робити дві незалежні одна від іншої організації». По-перше, принципи організації будь-чого повинні забезпечити оптимальну структуру, а не ставити в основу якість виконавців, зокрема рівень їхньої моралі. По-друге, хабарник буде вимагати хабар при будь-якій структурі. Розподіл функцій двома напрямками, навпаки, збільшить число хабарників-чиновників. Принцип нероздільності забезпечує оптимальну структуру органу управління внаслідок можливості об'єднати суб'єкт управління з об'єктом не тільки прямим регуляторним зв'язком, а і зворотнім – контрольним, з допомогою якого можливо контролювати не лише дисциплінованість об'єкта, а також виявляти помилки суб'єкта. Практика дає багато прикладів недосконалості законів, нормативних вимог, положень тощо. Суб'єкт управління не «безгрішний» і наявність зворотного зв'язку дозволяє оперативно виявляти огріхи в системі управління, а не звинувачувати в усіх негараздах тільки об'єкт управління.

*Екологічна ризиковість* полягає у вірогідному прояві будь-якого показника, процесу, явища природного походження. Тому системи управління повинні будуватися не на принципі «нульового ризику», а мати змогу прогнозувати реальний економічний ризик і розраховувати так званий «прийнятний ризик», зокрема екологічний прийнятний господарський ризик.

Принцип *логістичності* управління полягає в необхідності пошуку найкращого режиму управління з урахуванням реальних умов об'єкта регулювання відповідно до логістичної закономірності, яка має чотири зони (рис. 3.3.1).



**Рис. 3.3.1.** Логістична залежність:

Ф – фактор дії; Р – результат; А, В, С, Д – зони ефективності

Для зони «А» характерним є мала чутливість об'єкта управління до фактору дії. Зона «В» відповідає стрімкому збільшенню результату дії від значення фактору управління. У зоні «С» ця результативність знову зменшується, а в зоні «Д» взагалі припиняється. Очевидно, що найбільш ефективною для регулювання є зона «В».

Принцип *логістичності* управління образно можна назвати принципом «пасічника» (чи «сінокосаря»), який залежно від конкретних погодних умов знаходить період медозбору (сінокоосу), коли можна отримати найбільший «врожай» меду (сіна), не завдаючи шкоди бджолиному рою (луку). У зоні «В» за відносно короткий період організми продукують необхідну масу з запасом, який уміло використовують «пасічники».

Принцип *багаторівневості* широко відомий як гасло багатьох організацій, зокрема «Грінпіс» – «Думати глобально, а діяти – локально». Він віддзеркалює декілька управлінських аспектів проблеми взаємовідносин у системі «природа – люди – економіка». По-перше, всі проблеми зароджуються локально, крапково в місці концентрації людської, перш за все, – техногенної діяльності. По-друге, сума крапкових впливів під дією глобальних природних колообігів створює глобальний вплив і тому, вирішуючи конкретне локальне питання, треба його оцінювати за внеском у глобальні явища. По-третє, треба враховувати, що локальна діяльність відбувається на глобальному фоні, який постійно міняється.

Принцип *демократизму* має два аспекти. По-перше, це відкритість, прозорість систем управління і активний вплив на діяльність цих систем широкого загалу громадян і ЗМІ. По-друге, споживач природного ресурсу і забруднювач навколишнього середовища мусять платити адекватно шкоді довкіллю. Використання природних ресурсів повинно бути соціально справедливим, а не лише вигідним для бізнесових структур.

Принцип *пріоритетності* полягає в необхідності ранжування об'єктів системи регулювання. У природній екологічній системі всі живі організми мають однакові права на задоволення своїх потреб. У соціоекологічній системі, де значне місце належить не природному врегулюванню, а штучному, ранжування споживачів у задоволенні потреб будь-яким природним ресурсом стає чи не найголовнішою задачею управління. Як правило, треба керуватися міжнародними вимогами, згідно з якими на першому місці стоять біологічні потреби, передусім людські. Крім того, треба враховувати «вагомість» потреб. Наприклад, людині питної води потрібно в 200–300 разів менше, ніж санітарно-побутової.

Принцип *законності* твердить, що методи, заходи, засоби, умови управління якістю навколишнього середовища не повинні суперечити чинному державному законодавству і враховувати міжнародні нормативні документи. Для прикладу розглянемо деякі вимоги Водного Кодексу України. У статтях 36, 37 і 38, де розглядаються нормативи екологічної безпеки водокористування, фактично містяться вимоги до системи управління водним об'єктом щодо поточних і перспективних завдань. Оцінка можливостей використання води різними споживачами – людиною, рибами, медичними та іншими закладами – виконується по гранично допустимій концентрації речовин (ГДК), на базі яких встановлюються нормативи гранично допустимого скидання забруднювальних речовин (ГДС). Значення ГДС призначаються з метою поетапного досягнення екологічного нормативу якості води водного об'єкта (ЕНЯ) – науково обґрунтованого значення концентрації забруднювальних речовин та показники якості води (загальнофізичні, біологічні, хімічні, радіаційні).

Стаття 82 «Регулювання стоку річок, створення штучних водойм» наголошує: «З метою збереження гідрологічного, гідробіологічного та санітарного стану річок забороняється споруджувати в їх басейні водосховища і ставки загальним обсягом, що перевищує обсяг стоку річки в розрахунковий маловодний рік, який спостерігається один раз на двадцять років».

### ***Контрольні запитання і завдання:***

1. Пояснити зміст поняття «принцип».
2. Перелічити складові принципу науковості.
3. У чому полягає сутність превентивності в ранжуванні людських цінностей?
4. Пояснити зміст цільово-ситуаційного алгоритму управління.
5. Розробити ранжований перелік споживачів річкової води.
6. Що таке «репродуктивність екологічної системи»?
7. Що вимірюється з допомогою «людського сліду»?
8. Обґрунтувати принцип нероздільності регулювання і контролю.
9. У чому полягає зміст прийнятного господарського ризику?
10. Розтлумачити особливості логістичної залежності.
11. Як практично в системі управління реалізувати принцип «думати глобально – діяти локально»?
12. У чому полягає демократизм системи управління якістю навколишнього середовища?
13. Розробити ранжований список споживачів повітря у місті.
14. Чим екологічний норматив якості води відрізняється від значення гранично допустимого скидання забруднювальних речовин?



### **3.4. Методи і механізм управління якістю навколишнього середовища**

- *класифікація методів управління;*
- *зміст адміністративного методу управління;*
- *екологічна оцінка в системі управління;*
- *особливості економічного методу управління;*
- *зміст морального методу управління;*
- *практичне використання різних методів управління.*

Для управління якістю навколишнього середовища використовують традиційні методи управління, а саме – адміністративний, економічний, моральний і комплексний, коли залежно від обставин інтегрують два–три з перелічених.

Сутність адміністративного (примусового, нормативного) методу полягає у встановленні чітких правил поведінки людей щодо природи. Образно цей метод можна назвати «правилом світлофору»: можна – не можна, дозволено – заборонено, вільно – зайнято, стій – іди. З давніх-давен існувала заборона на полювання чи вилов риби у певні періоди. З часом, кількість правил збільшувалась, поступово охороняючи не лише тваринний світ, а і рослини та абіотичні сфери природного середовища. Сьогодні таких правил існує значна кількість у вигляді міжнародних, міждержавних та державних документів різного рівня: законів, стандартів, норм, інструктивних вимог тощо. Загальним для них є обов'язковість до виконання на певній території усіма фізичними та юридичними суб'єктами.

За допомогою вказаних вимог та інструментів влада встановлює правила поведінки жителів, що дозволяє реалізовувати довгострокову екологічну політику (стратегію, парадигму, концепцію).

За тривалий час використання правила світлофору людство отримало багато підтверджень високої ефективності адміністративного методу управління станом навколишнього середовища. У якості прикладу розглянемо стан атмосферного повітря у мегаполісах.

У середині ХХ століття у Лондоні, Токіо та інших містах збільшення кількості автотранспорту призвело до появи «смогу» – недопустимого забруднення атмосферного повітря. Поліціанти-регулювальники дорожнього руху працювали у протигазах, а на вулицях встановили автомати очистки повітря, за допомогою яких пішоходи, за певну плату, могли подихати нормальним повітрям. Урядами багатьох держав, з використанням інструменту стандартизації, були прийняті довгострокові покрокові програми безперервних (з періодом в декілька років) переглядів норм викидів токсичних

компонентів у відпрацьованих газах автомобільних двигунів. Незважаючи на опір виробників автомобілів (компанія Ford навіть судилася з урядом США та програла процес) цей захід дав чудовий результат – за чверть століття, незважаючи на значне збільшення кількості автомобілів на дорогах мегаполісів, шкідливі викиди у міське атмосферне повітря зменшились у декілька разів.

Адміністративний метод реалізовується не лише шляхом встановлення перелічених довго- та середньострокових документів загального характеру, а й у вигляді видачі певних дозвільних актів на конкретну дію персоніфікованого суб'єкта впливу на навколишнє середовище. Це, по-перше, видача на певний час дозволів на землекористування та водозабезпечення, на викиди шкідливих речовин у атмосферне повітря та скиди забруднень у водні об'єкти, на вивіз з території та захоронення твердих, виробничих і побутових відходів. По-друге, це видача дозволів одноразової дії – ліцензій – мисливцям на відстріл диких тварин і птахів, рибалкам – на вилов риби та інших водних ресурсів. Це також, по-третє, так зване квотування. Велике значення мають такі інструменти як уніфікація і стандартизація, коли відповідні документи не дозволяють виробляти і використовувати продукцію, яка завдає шкоди природі і людям.

До адміністративного методу управління станом навколишнього середовища належить екологічна оцінка (експертиза) пропозицій щодо створення нових і модернізації існуючих об'єктів господарської чи іншої людської діяльності. В Україні вона здійснюється відповідно до закону «Про оцінку впливу на навколишнє середовище». Тут додамо одне принципове зауваження щодо обов'язковості цієї процедури в системі управління станом навколишнього середовища. Незважаючи на всесвітнє визнання принципу презумпції негативного впливу людської діяльності на природу, вказаним Законом передбачається проведення екологічної оцінки лише для об'єктів так званої «підвищеної небезпеки», перелік яких встановлює виконавча влада. Тут не враховується дуже важлива обставина – в яких конкретно умовах буде діяти цей об'єкт. Наприклад, бензозаправка в степу може вважатися безпечною, а в центрі міста – небезпечною. Тому будь-яка пропозиція повинна пройти екологічну оцінку в системі місцевого управління, де на першому етапі розгляду матеріалів пропозиції приймається рішення щодо необхідності проведення більш ретельної екологічної оцінки.

Економічний метод управління побудований на принципі «споживач і забруднювач платить» і дає платнику можливість самостійно обирати варіант рішення. Наприклад, забруднювач може платити більше за неочищені гази, або встановити на трубі фільтр і платити менше за

викиди. На перший погляд, економічний метод управління є соціально-справедливим. Але багаторічний досвід його використання свідчить про безперспективність орієнтації на лозунг – «відкупимось». На практиці, економічний вибір конкретного виробника призвів до появи ринку забруднень, котрий гальмує екологізацію господарської діяльності. Для чого шукати інноваційні технології, якщо є можливість купити право на наднормативне забруднення застарілим обладнанням? Купити не лише у колеги-підприємця, а й у неіндустріальної держави на міжнародному ринку забруднень!

Моральний метод, на відміну від двох розглянутих, загальною рисою яких є примусові, базується на заохочуванні, стимулюванні дбайливого ставлення до стану навколишнього середовища окремих осіб, колективів, керівників. Система управління має передбачати заходи щодо підвищення моральної відповідальності пересічного громадянина, жителя населеного пункту, представників влади, бізнесменів за практичні дії, які впливають на стан навколишнього середовища. Поведінка в побуті, на вулиці, у громадських місцях, у зонах відпочинку, на робочому місці визначатиметься перш за все особистою культурою, духовністю, відповідальністю людини. Але багато залежить і від системи управління, яка повинна взяти на себе організаційні функції.

Моральний метод управління станом навколишнього середовища повинен відіграти провідну роль у практичній реалізації парадигми сталого розвитку. Як тут не згадати тезу: «Спасіння потепельників – справа рук самих потепельників!».

Практика управління станом навколишнього середовища в різних державах свідчить про використання усіх трьох методів у комплексі з акцентуванням на окремих складових залежно від історичних, етнічних, економічних, політичних та інших факторів.

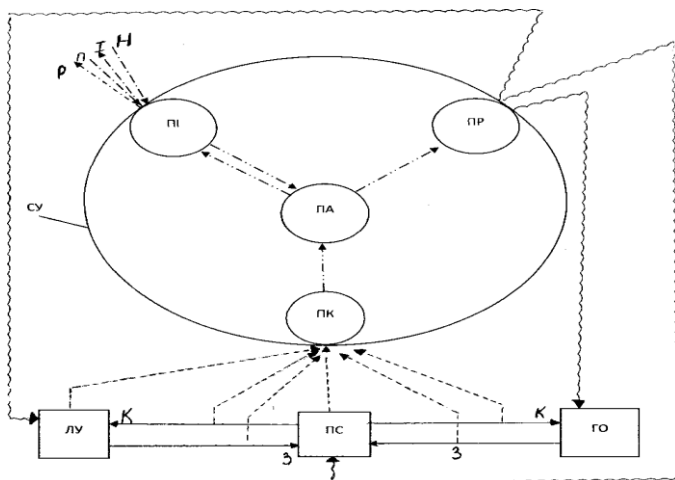
### ***Контрольні запитання і завдання:***

1. Перелічити методи управління якістю навколишнього середовища.
2. Перелічити методи реалізації адміністративного методу.
3. Навести приклади динаміки вимог до якості будь-якого компонента навколишнього середовища.
4. У чому зміст «Кіотського протоколу»?
5. Згідно з «Кіотським протоколом» Україна заплатила чи отримала гроші і за що?
6. У чому принциповий недолік економічного методу управління?
7. Чим принципово відрізняється біосферна людина від ноосферної?

### 3.5. Принципова схема системи управління на місцевому рівні

- структура принципової схеми системи управління
- об'єкти управління в системі
- типи зв'язків у системі
- підсистеми системи управління
- особливості підсистеми інформації

На рисунку 3.6.1 показано принципову схему управління якістю навколишнього середовища на місцевому (локальному) рівні. Система управління має, як мінімум, чотири функціональні системи, поєднані між собою і з об'єктами та суб'єктами управління складною системою зв'язків. Система місцевого управління має зв'язок із розташованою вище за ієрархією систем через отримання рекомендації та нормативних вимог «Н» і шляхом звітності через «І». Система також відкрита для отримання пропозиції щодо змін у місцевій соціоecosystemі (модернізація чинних об'єктів управління і створення нових, покращення заповідної справи тощо) – зв'язок «П». Відповіді після аналізу в системі управління надходять зв'язком «Р».



**Рис 3.6.1.** Функціонально-структурна схема системи локального управління

ЛУ – людське утворення; ПС – природне середовище;

ГО – господарський об'єкт (технології); ПА – підсистема аналізу;

ПК – підсистема контролю (моніторингу); ПІ – підсистема інформації;

ПР – підсистема регулювання; СУ – система управління.

→ – Зв'язки функціональні (технологічні): К – природокористування;

З – забруднення; — → – Зв'язки контрольні;

## **Системний аналіз якості навколишнього середовища**

~~~ – Зв'язки управління (регулювання); — ·▶ – Зв'язки інформаційні;  
— ·▶ – Зв'язки внутрішньо системні управлінські;  
Н – нормативні вимоги і рекомендації; І – інформація звітна;  
П – пропозиції місцеві; Р – рішення за пропозиціями.

Об'єкти управління – люди, природне середовище і компоненти господарської діяльності знаходяться в постійному піклуванні системи управління через зв'язки контролю у вигляді системи екологічного моніторингу та через регуляторні зв'язки. Із трьох підсистем системи управління лише ПА не має зовнішніх зв'язків. Це «мозок» СУ, який аналізує інформацію, що надходить в систему, аргументує відповіді і передає їх для реалізації підсистеми ПІ і ПР. Зосередження в одній управлінській структурі функцій регулювання і контролю значно підвищує ефективності управління, бо не обмежується взаємовідношення між об'єктами та суб'єктами управління, а дозволяє виконувати дуже важливу для СУ операцію самооцінки.

Підсистема інформації ПІ є найбільш відкритою в системі управління – вона характеризується як внутрішньо системними зв'язками, так і зовнішніми прямими і зворотними, через які місцева влада здійснює взаємовідносини з суб'єктами управління вищих рівнів. Через ПІ схема управління якістю навколишнього середовища взаємодіє з іншими галузевими системами управління місцевої влади, з громадськістю, з окремими фізичними та юридичними суб'єктами.

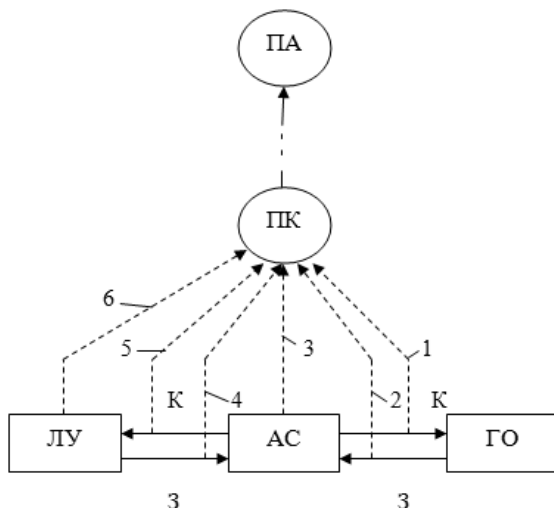
### ***Контрольні запитання і завдання:***

1. Що є об'єктами системи управління якістю навколишнього середовища на місцевому рівні?
2. З яких підсистем утворена система управління?
3. Які зв'язки на рис. 3.9 належать до управлінських внутрішньо-системних?
4. Проаналізувати особливості технологічних зв'язків на рисунку 3.6.1.
5. Розробити схему класифікації інформаційних зв'язків на рисунку 3.6.1.
6. Розробити схему класифікації внутрішньосистемних управлінських зв'язків на рисунку 3.6.1.

### **3.6. Особливості підсистеми контролю якості навколишнього середовища**

- *об'єкти підсистеми контролю;*
- *зв'язки в підсистемі контролю;*
- *особливості зв'язків з людським утворенням;*
- *особливості екологічного моніторингу.*

Як видно на рисунку 3.7.1, який є фрагментом рисунку 3.6.1, об'єктами підсистеми контролю є люди, природне середовище та штучні компоненти людської технологічної діяльності – господарські об'єкти, що входять до складу соціоекосистеми, яка аналізується.



**Рис. 3.7.1.** Схема підсистеми контролю системи управління якістю навколишнього середовища

Пояснення щодо умовних позначень, що на рисунку 3.7.1 – у тексті.

Останні пов'язані з навколишнім природним середовищем технологічними зв'язками двох типів – природокористування К і забруднення 3. Підсистема контролю здійснює нагляд за екологічною діяльністю ГО шляхом вимірів споживання підприємством природних ресурсів (зв'язок 1) і визначення скидів, викидів та утворення твердих відходів (зв'язок 2).

Через зв'язок 3 підсистема контролю слідкує за змінами в стані природного середовища НС.

Людські (спеціальні) утворення контролюються підсистемою ПК за трьома зв'язками: матеріальних впливів 4 та 5, аналогічних зв'язкам 1 та 2, а також за зв'язками нематеріальних впливів – 6.

Інформація, що надходить каналами 1, 2, 3, 4, 5, 6 у базу даних підсистеми ПК передається для обробки в підсистему аналізу ПА.

Найпростішим варіантом є контроль функціональності штучного технологічного об'єкта (ГО) через зв'язки 1 і 2. Ще в процесі створення об'єкта обґрунтовується перелік його впливів на природне середовище і людей, обраховуються кількісно природні ресурси, необхідні для функціонування, та визначаються тверді, газоподібні та рідкі відходи виробничої діяльності. Аналіз технологічних процесів дає можливість встановити залежність негативного впливу на довкілля від режиму експлуатації об'єкта. Останнє є підставою для системи управління втручатися в систему регулювання об'єктом на випадок форс-мажорних екологічних природних ситуацій. Як правило, об'єкти ГО мають власні системи контролю, що спрощує задачу отримання інформації по зв'язках 1 і 2.

Більш складним для ПК є варіант з об'єктом у вигляді людського управління (ЛУ) – людського поселення чи певного соціуму в ньому. Такі об'єкти мають штучні споруди для задоволення колективних потреб – водозабезпечення, каналізація, енергозабезпечення, полігони твердих побутових відходів тощо. Контроль діяльності таких споруд здійснюється по зв'язках 4 і 5, аналогічно контролю за роботою (ГО) по зв'язках 1 і 2. Через зв'язок 6 здійснюється контроль специфічних показників – здоров'я людей, фізичне та психологічне, рівень культури і освіти, задоволеність життям, матеріальний добробут тощо. Інформація за цими показниками надходить від спеціальних органів місцевої влади.

Варіант контролю стану «НС» є початком ланцюга екологічного моніторингу (рис. 3.7.2), який охоплює підсистеми ПК і ПА.

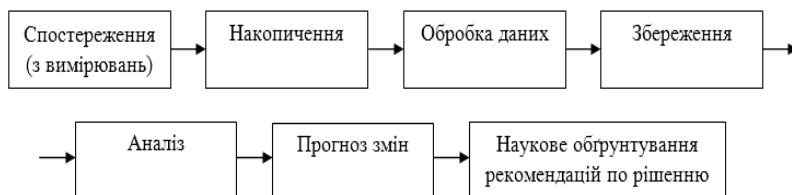


Рис. 3.7.2. Алгоритм екологічного моніторингу

Із семи операцій моніторингу в підсистемі контролю виконуються перші чотири, а заключні три – в підсистемі аналізу.

Спостереження як початкова фаза наукових досліджень здавна виконувалися в гідрології, метеорології, біології і накопичили значний досвід використання та вдосконалення інструментарію хімічних, фізичних, математичних та інших вимірів. Щодо комплексних досліджень, якими є вивчення екологічних систем, то тут досвіду майже немає. Тому сьогодні перша операція екологічного моніторингу базується на традиційних засобах спостереження і вимірювання показників природних та штучних об'єктів. Обов'язковою умовою таких вимірів є часова координація – дотримання синхронності спостереження показників всіх компонентів екосистеми для можливості в подальшому пошуку взаємопов'язаних зв'язків між ними.

Наступні три операції екологічного моніторингу полягають у розробці класифікаційних схем, форм банку даних, методик обробки даних вимірювання, блоків збереження накопичених результатів спостереження і обробки вимірювання.

Аналіз досвіду екологічного моніторингу різних рівнів свідчить про наявність недоліків в проведенні контролю якості навколишнього середовища. По-перше, найбільша увага приділяється вивченню найпростіших компонентів екосистем – абіотичним складовим. Біотичні компоненти необґрунтовано недооцінюються. По-друге, при дослідженні біоти головна роль відведена вищим рослинам і тваринам, значенню мікроорганізмів, грибів та інших простіших редуцентів приділяється недостатня увага. Тому основна задача екологічного моніторингу полягає в гармонізації дослідження всіх компонентів екосистеми для отримання можливості комплексної оцінки колообігів і життєвих циклів.

### ***Контрольні запитання і завдання:***

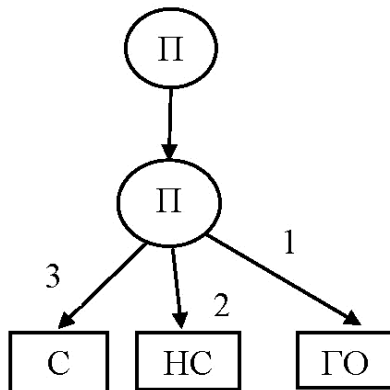
1. Дати докладну характеристику об'єкта контролю – природне середовище.
2. Дати докладну характеристику об'єкта контролю – люди.
3. Дати докладну характеристику об'єкта контролю – господарські об'єкти.
4. Що може бути джерелом інформації по зв'язках 1 і 2 на рисунку 3.7.1?
5. Розробити перелік показників, що контролюються по зв'язку 3 на рисунку 3.7.1.
6. Що це таке – «екологічний моніторинг»?
7. У чому основний (екологічний) недолік існуючих систем моніторингу стану навколишнього середовища?



**3.7. Особливості підсистеми регулювання якості навколишнього середовища**

- об'єкти підсистеми регулювання;
- зв'язки в підсистемі регулювання;
- управління господарським об'єктом;
- управління природним середовищем;
- управління соціумом.

На рисунку 3.8.1 представлена схема зв'язків підсистеми регулювання якості навколишнього середовища, з якої очевидно, що об'єктами регулювання є соціум (С), природне середовище (НС) і господарські технологічні об'єкти (ГО).



**Рис 3.8.1.** Схема підсистеми регулювання системи управління якості навколишнього середовища:

1, 2, 3 – зв'язки регулювання (управління); інше – як на рис 3.7.1.

Підсистема регулювання є виконавчою, що реалізує рішення, які приймаються аналітичним підрозділом системи управління якості навколишнього середовища (ПА).

За зв'язком 1 до технологічного об'єкта надходять дозволи на природокористування (земельна територія; річний ліміт забору води для спеціального використання; ліміт забору атмосферного повітря для бізнесового використання; кількість піску, глини та інших ресурсів, необхідних для функціонування). Та дозволи на скиди, викиди та тверді відходи в певній кількості, по інгредієнтах. Дозвіл видається підприємству на повний період (від року і більше) із зазначенням, що

він може бути тимчасово скорегований (або зовсім скасований) внаслідок форс-мажорних обставин. Наприклад, внаслідок маловоддя в період літньої межі, промислового підприємству зменшується обсяг дозволу на спеціальне водокористування.

Через зв'язок 1 система управління якістю навколишнього середовища реалізує екологічну політику місцевої влади стосовно екологізації підприємств, що діють на території, при видачі дозволу вказується на необхідність за період його дії виконання повні заходи щодо ресурсозбереження. Очевидно, що вплив місцевої влади на об'єкт господарювання не може виходити за межі чинного в державі законодавства. Зокрема, вказане вище зменшення ліміту водокористування повинне відповідати вимогам «Водного Кодексу України» та інших нормативних документів.

Екологічна політика місцевої влади через зв'язок 1 впливає не лише на технологічні процеси ГО, а і здійснює компенсаційні заходи за рахунок підприємств щодо шкоди дикій природі, що були нанесені під час будівництва чи модернізації або будуть заповдіяні після виведення з експлуатації ГО. Зокрема йдеться про зариблення водойм, рекультивуацію земель, поновлення земельних насаджень, створення штучних ландшафтів, тощо.

Через зв'язок 2 система управління реалізує державну і місцеву екологічну політику в об'єктах дикої природи. Перш за все – це заповідна справа – сукупність заходів по збереженню, розширенню, збалансованому використанню об'єктів дикої природи. По-друге, це реалізація заходів щодо акліматизації тварин і рослин, із забезпечення їхнього біологічного видового і популяційного різноманіття, зі створення нових наземних і водних екосистем.

Зв'язок 3 охоплює сукупність заходів місцевої влади спрямованих на екологізацію поведінки окремих людей, соціумів, які представляють місцеву громаду. Ці заходи умовно діляться на дві групи: превентивні і поточні(оперативні). До превентивних відносяться умови взаємовідносин між владою і бізнесом, плани розвитку територій та поселень, заходи щодо розвитку екологічної освіти, культури та науки. Поточні заходи – це: порядок поводження з твердими ґрунтами, зонування рекреаційних територій і акваторій та визначення правил їх використання, правила організації роботи служб ЖКГ у штатному та аварійному режимах.

### ***Контрольні запитання і завдання:***

1. На підставі яких даних орган управління видає підприємству дозволи природокористування і забруднення?

2. За яких обставин дія дозвільного документу, виданого підприємству, може бути призупинена?
3. У чому полягає зміст управління заповідною територією?
4. Розробити схему класифікації управлінських заходів, представлених на рисунку 3.8.1 зв'язком 3?

### **3.8. Особливості управління водною природно-штучною системою**

- *особливості природних екологічних систем річок;*
- *показники екосистеми річки Південний Буг;*
- *гідрологія незарегульованої річки Південний Буг;*
- *гіпотеза санітарної самоочистки річки;*
- *потужність потоку річкової води.*

Річки відіграють вагомую роль у біосферному колообігу води, який, як відомо, є найбільш потужним рухом речовини і енергії на планеті. Вони компенсують різницю міні-опадями на земну і океанічну поверхні, а також випаровуванням в  $37 \cdot 10^3$  км<sup>3</sup>/рік.

Річкові екосистеми характеризуються значним біорізноманіттям водних рослин і тварин. Наприклад, землемір Херсонського уїзду, поручик Редильський, свідчив у 1791 році, що в річці Буг ловиться: риба осетр, білуга, стерлядь, севрюга, сазани, щука, окунь та «інших родів багато». У річці виловлювали сомів довжиною до 6 метрів.

Основною причиною цього різноманіття є безперервний рух річкової води, тобто середовища існування біоти, і значні відмінності цього руху на різних ділянках річки. Це створює необхідні умови як для нересту і проживання молоді так і для нагулу дорослої риби.

За багатотисячлітню історію біота екосистеми кожної річки пристосувалася до особливостей динаміки хімічних і фізичних показників водного середовища. І не тільки пасивно пристосовувалися, а й активно впливали на якість води завдяки поглинальним, фільтрувальним та іншим здібностям.

Динамізм річкового потоку має різні масштаби в часі – багаторічний, річний, сезонний і навіть добовий.

Відомо, що водність річки, яка залежить від багатьох природних факторів вірогідного характеру, є показником, значення якого міняються з часом випадково. Для річки П. Буг це добре видно за таблицею 3.8.1.

*Таблиця 3.8.1*

**Зміни середньорічних витрат води П. Бугу W (м<sup>3</sup>/с)**

|     |      |       |       |       |       |       |      |       |
|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| Рік | 1936 | 1937  | 1938  | 1939  | 1940  | 1942  | 1943 | 1944  |
| W   | 40,0 | 111,4 | 67,0  | 59,1  | 163,0 | 148,0 | 73,0 | 60,5  |
|     | 1945 | 1946  | 1947  | 1948  | 1949  | 1950  | 1951 | 1952  |
|     | 86,9 | 60,7  | 128,0 | 118,0 | 96,0  | 59,0  | 74,0 | 70,0  |
|     | 1953 | 1954  | 1955  | 1956  | 1957  | 1958  | 1959 | 1960  |
|     | 88,0 | 42,0  | 80,0  | 127,0 | 40,0  | 74,0  | 39,0 | 100,0 |
|     | 1961 | 1962  | 1963  | 1964  | 1965  | 1966  | 1967 |       |
|     | 46,0 | 83,0  | 94,0  | 46,0  | 105,0 | 98,0  | 97,0 |       |

За 30 років розглянутого періоду «дика», незарегульована річка характеризувалася значним коливанням витрат води – від 39 до 163 м<sup>3</sup>/с. «Висоководними» з  $W \geq 94$  м<sup>3</sup>/с було 12 років, «маловодними» ( $W \leq 46$  м<sup>3</sup>/с) – 6 років.

У таблиці 3.8.2 показано щомісячну витрату води в річці П. Буг у роки різної водності.

*Таблиця 3.8.2*

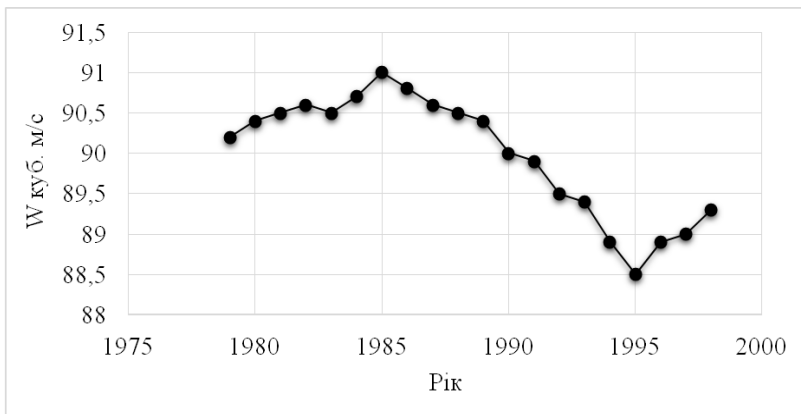
**Витрати води протягом року W (м<sup>3</sup>/с)**

| Категорія водності | Рік  | Місяць |       |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      | За рік |
|--------------------|------|--------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
|                    |      | I      | II    | III   | IV    | V     | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  |        |
| маловодний         | 1936 | 52,0   | 46,5  | 61,8  | 52,6  | 25,2  | 17,6 | 13,0 | 16,3 | 23,4 | 50,8 | 54,4 | 71,7 | 40,0   |
|                    | 1939 | 44,0   | 138,0 | 116,0 | 83,2  | 40,5  | 29,5 | 26,0 | 32,9 | 26,8 | 36,8 | 59,1 | 74,5 | 59,1   |
| середньоводний     | 1945 | 29,5   | 29,9  | 582,0 | 142,0 | 57,7  | 33,6 | 29,8 | 21,8 | 23,6 | 31,4 | 32,6 | 45,4 | 86,1   |
|                    | 1955 | 73,7   | 52,6  | 148,0 | 163,0 | 52,7  | 55,5 | 60,9 | 91,6 | 58,0 | 68,6 | 67,6 | 59,2 | 80,0   |
| висоководний       | 1940 | 38,6   | 25,3  | 570,0 | 829,0 | 104,0 | 46,1 | 33,0 | 43,4 | 58,6 | 56,5 | 82,0 | 67,3 | 163,0  |
|                    | 1956 | 84,4   | 202,0 | 187,0 | 123,0 | 50,3  | 42,6 | 30,3 | 28,4 | 43,5 | 40,4 | 39,7 | 47,6 | 127,0  |

Наведені дані свідчать про відсутність кореляційних зв'язків між динамічними показниками і водність річки.

За 104 роки гідрологічного моніторингу доволі витрати води в річці Південний Буг коливалися у велетенському діапазоні – від 2,6 взимку (24 лютого 1954 р.) і 3,3 влітку (10 серпня 1936 р.) до 5320 м<sup>3</sup>/с 8 квітня 1932 року.

На рисунку 3.8.1 наведено ділянку кумулятивної залежності витрати води річки Південний Буг, яка утворена усередненням річних значень за весь період спостережень. Крива має коливальний характер з періодом 22 роки і амплітудою 2,6 м<sup>3</sup>/с.



**Рис. 3.8.1.** Кумулятивна залежність витрат води річки П. Буг

Річна динаміка річкового потоку характеризується наявністю трьох фаз, дві з яких – межінь і повінь, з точки зору людини, як споживача природного ресурсу, є аномальними. Гідрологи вважають, що повінь – це помилка природи, бо прісна цінна вода скидається у море. Тому її треба притримати в штучному водоймищі і використати в період межені! «Помилка природи» виправляється людським втручанням і річковий потік стає рівномірним! Але чомусь досвід зарегулювання річок дає негативні наслідки не лише для об'єктів природної екосистеми, а часто і для штучних споруд. Відповідь проста – помилки природи не має, є помилкові людські уявлення і рішення! Річкова водна екосистема за багатотисячлітнє існування пристосувалася до певних умов і діє відповідно до закону динамічної рівноваги. Наука ще не довела, в чому функціональність повені, але, аналізуючи процеси, що відбуваються в екосистемі, можна висунути гіпотезу про «санітарну» функцію річкової повені, коли дно і береги річки очищуються від мулу

та від залишків відмерлих гниючих організмів. Водний потік «промиває» своє русло, забезпечуючи необхідні умови для нормального існування. Якщо гіпотеза правильна, то під час створення системи штучного утворення водними спорудами треба забезпечити виконання операції «санітарної промивки».

Ефективність санітарної промивки визначається потужністю потоку води  $P_{(1)}$  та коефіцієнтом тертя між водою і дном річки  $V$ .

$$P = E_B * \Delta \tau = 0,5 m * V * \Delta \tau \quad (3.8.1)$$

де,  $m$  – маса води:  $m = \rho * w / \tau$

$V$  – швидкість потоку;

$\Delta \tau$  – тривалість процесу.

Під час повені, яка характеризується значенням (до 5–6 разів) збільшенням маси, зростають також швидкість і тертя між водою і дном річки внаслідок потоку збільшенням глибини річки.

Тривалість періоду санітарної промивки  $\Delta \tau$  за даними басейнової інспекції річки П. Буг вимірюється декількома тижнями на рік. За таких умов річка століттями протікала південними степами, зберігаючи глибину і всі інші показники, необхідні для тривалого існування «дикої» водної екологічної природної системи.

Розрахунки свідчать про те, що енергія потоку води під час повені річки, незважаючи на невелику тривалість періоду перевищує енергію руху річкової води за найбільш тривалий спокійний період. Наприклад, у березні 1940 року за чотири дні гіперповені потужністю потоку дорівнюють сумарній енергії за двісті звичайних днів. Навіть у маловодний 1950 рік люднева повинь за 11 днів мала енергію, яка дорівнювала можливостям течії за увесь літній період.

### ***Контрольні запитання і завдання:***

1. У чому полягає роль річок при здійсненні колообігу води?
2. Окреслити межі екосистеми П. Бугу на карті України.
3. Побудувати графічну залежність  $W = f(\tau)$  за таблицею 3.8.1.
4. За даними таблиці 3.8.2 побудувати графічну залежність  $W = f(\tau)$  для років середньо водності.
5. Виділити на графіку, отриманому при виконанні завдання 4, характерні фази річки Південний Буг.
6. Що таке «кумулятивна залежність витрат води»?
7. У чому сутність гіпотези «санітарної самоочистки річки»?
8. Розтлумачити фізичну сутність рівняння (3.8.1).

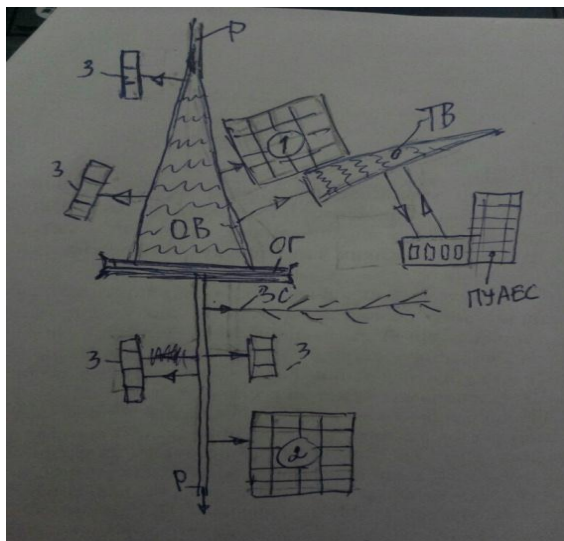
### **3.9. Управління режимами експлуатації руслового водосховища**

- *антропогенний вплив на річку;*
- *водосховища річки Південний Буг;*
- *схема соціоекосистеми «Зарегульована річка»;*
- *особливості водосховища Південноукраїнської атомної електростанції (ПУ АЕС);*
- *вплив регулювання на нерівномірність витрат води;*
- *аналіз особливостей повеней;*
- *вплив зарегульованості на стан водної екосистеми;*
- *рекомендації щодо вдосконалення системи управління.*

Здавна люди використовували річку для своїх потреб: питна вода худобі і людям, засіб транспортування вантажу, комфортні умови для відпочинку, джерело для поливу городів і садів, енергія річкового потоку, джерело риби та іншої продукції. Для підвищення ефективності використання водних ресурсів України в XIX столітті розпочався процес «вдосконалення» природних властивостей річок шляхом зарегулювання за допомогою гребель і штучних водосховищ.

На річці Південний Буг побудовано декілька штучних водосховищ, найбільш великими з яких є Ладизинське, створене в 1964 році біля міста Вінниця для забезпечення водою системи охолодження Ладизинської електростанції. Другим за розмірами є Олександрівське водосховище біля міста Південноукраїнськ Миколаївської області, будівництво якого, за думкою енергетиків, ще не завершено. Унаслідок значної віддаленості цих водосховищ вплив на річку П. Буг має локальний характер. Тому далі ділянка річки від мигіївських порогів до міста Миколаєва розділяється.

На рис. 3.9.1 показана принципова структурна схема соціоекосистеми «Ділянка річки Південний Буг». На ній не вказані агрегати гідроакумулювальної електростанції та об'єкти, розташовані на південь від міста Вознесенськ. Найвпливовішим на гідрологічну ситуацію штучним компонентом соціоекосистеми є Південно-Українська атомна електростанція (ПУ АЕС), під час роботи якої на одиницю виробленої електроенергії витрачається дві одиниці енергії на випаровування води. Кожен з трьох енергоблоків станції на повній потужності вимагає один кубічний метр води на секунду.



**Рис. 3.9.1.** Схема соціоекосистеми:

Р – річкове русло; ОВ – Олександрівське водосховище;

ОГ – Олександрівська гребля;

ТВ – Ташлицьке водосховище – охолоджувач;

ПУ АЕС – Південноукраїнська АЕС; 1 – місто Південноукраїнськ;

2 – місто Вознесенськ; 3 – села; ЗС – зрошувальна система

Велетенські безповоротні витрати дуже дефіцитної в південній зоні України прісної води є одним з головних недоліків ПУ АЕС. Крім того, витрати води на природне випаровування збільшилися внаслідок значного збільшення водної поверхні після заповнення водосховища. Підвищення рівня води в водосховищі також інтенсифікує процеси інфільтрації, підтоплення внаслідок рівня підняття ґрунтових вод, погіршення солоності підземних вод тощо.

Негативний вплив ПУ АЕС на соціоекосистему безперервно зростає з моменту пуску в дію першого енергоблоку 1982 року. Наявність Олександрівської греблі дає можливість управляти процесом водорозподілу між споживачами. Далі приводяться дані щодо впливу цього управління на гідродинамічні показники річки П. Буг нижче греблі.

У таблицях 3.9.1, 3.9.2 та 3.9.3 наведено дані щодо впливу Олександрівського водосховища на гідродинамічні показники річки за однакової річкової водності.



## **Системний аналіз якості навколишнього середовища**

*Таблиця 3.9.1*

### **Витрати води $W(m^3/c)$ за місяцями маловодного року**

| Місяць  | I    | II  | III | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  | Річні |
|---------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 1939рік | 44,0 | 138 | 116 | 83,2 | 40,5 | 29,5 | 26,0 | 31,9 | 26,8 | 36,8 | 59,1 | 74,5 | 59,1  |
| 2009рік | 69,7 | 121 | 112 | 84,8 | 39,6 | 39,3 | 37,0 | 20,8 | 21,5 | 52,3 | 60,0 | 55,9 | 59,5  |

*Таблиця 3.9.2*

### **Витрати води $W(m^3/c)$ за місяцями середньої водності**

| Місяць  | I     | II    | III   | IV    | V    | VI   | VII   | VIII | IX   | X    | XI   | XII  | Річні |
|---------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|
| 1976рік | 54,0  | 58,0  | 192,7 | 233,0 | 75,3 | 42,0 | 26,0  | 36,8 | 78,7 | 96,0 | 81,7 | 84,7 | 88,0  |
| 2010рік | 101,0 | 128,0 | 138,7 | 108,8 | 49,3 | 88,0 | 105,3 | 30,0 | 40,0 | 90,0 | 89,0 | 96,0 | 88,1  |

*Таблиця 3.9.3*

### **Витрати води $W(m^3/c)$ за місяцями висоководного року**

| Місяць  | I     | II    | III   | IV    | V    | VI    | VII   | VIII | IX   | X     | XI    | XII  | Річні |
|---------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|------|-------|
| 1948рік | 261,0 | 215,0 | 163,0 | 112,0 | 43,2 | 169,0 | 195,0 | 72,3 | 45,2 | 49,8  | 53,2  | 37,9 | 118   |
| 2006рік | 93,0  | 107,0 | 224,0 | 297,0 | 96,8 | 116,0 | 60,9  | 33,5 | 78,2 | 105,0 | 106,0 | 75,7 | 116   |

Штучне гідрологічне регулювання відчутно змінило помісячний характер водного потоку протягом року. Оцінено цей вплив за допомогою коефіцієнта нерівномірності витрат потоку води:

$$K_n = 6\Sigma I * W^m - 6\Sigma I * W / W,$$

де індекс біля витрат води  $W$  означають:  $p$  – середньорічні,  $m$  – місячні,  $n$  – нижні (мінімальні) місячні.

У таблиці 3.9.4 представлено результати розрахунків коефіцієнта  $K_n$  за даними таблиць 3.9.1, 3.9.2 та 3.9.3.

*Таблиця 3.9.4*

### **Значення коефіцієнту нерівномірності витрат**

| Показник    | Період, рік          |       |      |               |      |      |
|-------------|----------------------|-------|------|---------------|------|------|
|             | Незарегульована ріка |       |      | Сучасний стан |      |      |
|             | 1939                 | 1948  | 1976 | 2006          | 2009 | 2010 |
| $W (m^3/c)$ | 59,1                 | 118,0 | 88,0 | 116,0         | 59,1 | 88,1 |
| $K^n$       | 5,47                 | 5,39  | 5,39 | 4,46          | 4,92 | 3,31 |

За будь-якої водності річки зарегульованість призведе до значного зменшення коефіцієнта нерівномірності витрат, що свідчить про нівелювання річного річкового стоку та замулення русла. Для більш динамічного розгляду цього процесу проаналізуємо особливості поверхні річки не в масштабі місяця, а подекадово. На рисунках 3.9.2; 3.9.3 і 3.9.4 показані закономірності витрат річкового потоку.

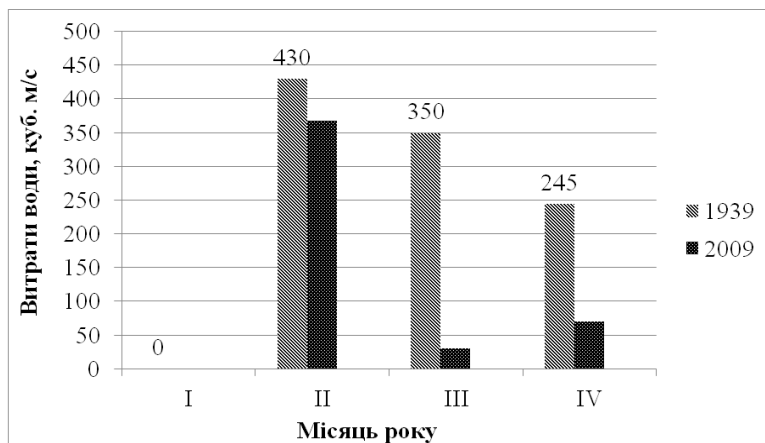


Рис. 3.9.2. Кількісна характеристика повеней р. Південний Буг

У маловодний 1939 рік повінь Південного Бугу мала двопіковий вигляд з екстремальними значеннями витрат 209:170 м<sup>3</sup>/с (рис 3.11.3). В аналогічний за витратами 2009 рік регулюванням потоку ріки були зрізані і повінь пройшла з максимальними витратами біля 130 м<sup>3</sup>/с.

Як видно з рисунка 3.9.3, внаслідок збільшення загальної водності річки повінь в 1976 була більш тривалою і інтенсивно-максимальне значення витрат досягло 350 м<sup>3</sup>/с. Регулюванням потоку ця величина була зменшена до 160 м<sup>3</sup>/с.

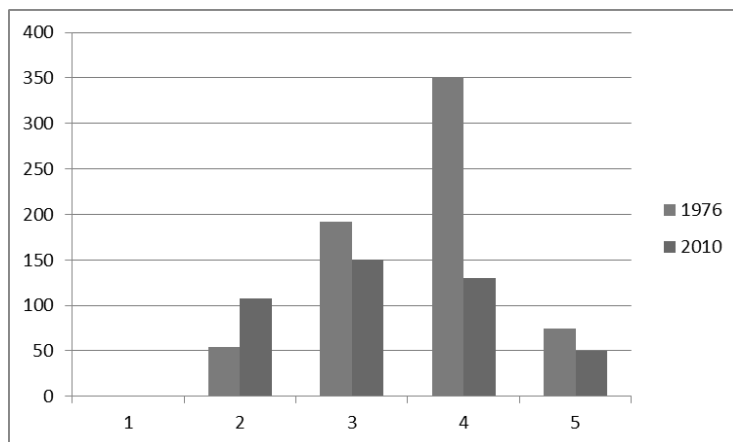
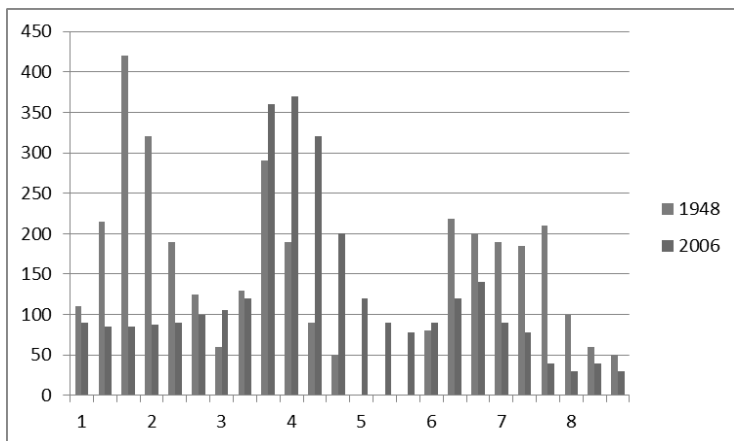


Рис. 3.9.3. Динаміка повені при  $W=80$  м<sup>3</sup>/с

## **Системний аналіз якості навколишнього середовища**

Значно складніша загальна картина повеней в багатоводні роки (рис. 3.9.4). По-перше, екстремальні витрати води в річці спостерігалися протягом семи місяців року. По-друге, незарегульована річка характеризується повинню. Перший пік визначається рекордними витратами 320–420 м<sup>3</sup>/с, а третій – п'ятитижневою тривалістю з рівномірними витратами близько 200 м<sup>3</sup>/с.

Регулюванням характер повені різко змінено: трипікова фазність замінена на двовікову; екстремальні витрати зменшено з 420 до 370 м<sup>3</sup>/с; тривалість середнього піку збільшилась удвічі.



**Рис. 3.9.4.** Динаміка повеней у висоководний рік

Подекадне представлення повені дає можливість розрахувати потужність санітарного стоку річки  $p$  за спрощеною залежністю  $p=zw$ , де  $z$  дорівнює числу декад повені. Результати розрахунків даних рисунків. 3.9.2, 3.9.3, 3.9.4 зведені у таблицю 3.9.5.

*Таблиця 3.9.5*

### **Енергетичні показники повені**

| Показник                           |                       | Річні витрати води $W_p$ м/с. |           |         |
|------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------|---------|
|                                    |                       | 59.1                          | 88.0–88.1 | 116–116 |
| Потужність стоку                   | Незарегульована річка | 980                           | 1850      | 3390    |
|                                    | Зарегульована річка   | 900                           | 1170      | 2970    |
| Коефіцієнт впливу зарегульованості |                       | 1.09                          | 1.58      | 1.14    |

Коефіцієнт впливу зарегульованості визначався як відношення відповідно значень потужності потоку.

Аналіз стану соціоекосистеми річки Південний Буг південніше Олександрівського водосховища вказує на наявність таких негативних процесів і явищ:

- глибина річки внаслідок замулення відчутно зменшилась – з 3-4 до 1,5-2,5 метрів;
- прибережна ділянка інтенсивно заросла очеретом і водними травами;
- значно інтенсифікувався процес евтрофікації води, якщо раніше він був помірним протягом одного-двох місяців, то зараз триває 5-6 місяців у загрозливій формі;
- різке збіднення іхтіофауни, зникнення прохідних і напівпровідних видів риб, зменшення поголів'я інших видів.

Однією з причин, мабуть найголовнішою, є зарегулювання річки в Олександрівці, що унеможливило природний віковичний рух риби та позбавило річку природної самоочисної здібності під час повені.

Підсумовуючи вищенаведені дані щодо водності річки Південний Буг, слід визнати роботу системи регулювання Олександрівського водосховища неефективною.

Відчутно впливаючи на зменшення пікових повеневих витрат води, вона не тільки не покращувала ситуацію в періоди межені, а часто погіршувала її. Пояснюється це пріоритетністю в системі управління одного водоспоживача – Південноукраїнського енергокомплексу.

Для підвищення ефективності управління Олександрівського водосховища потрібно переробити основний регламентний документ щодо експлуатації водосховища як одного з компонентів вхідної природної системи. В основу переробки необхідно покласти перелічені раніше принципи управління (підрозділ 3.3). Розглянемо більш детально реалізацію принципів пріоритетності і екологічної ризиковості.

Перший вимагає ранжування водоспоживачів. Згідно з Водним Кодексом України та міжнародними документами на першому місці стоїть людина з її харчовими та санітарно-побутовими потребами у воді. Другими є водні річкові мешканці. Далі розташовані об'єкти штучного водозабезпечення – зрошувальні поля, городи, сади тощо. І на останньому місці в ранжувальному списку числяться штучні споруди – промислові і енергетичні об'єкти, річковий водний транспорт.

Принцип екологічної ризиковості фіксує відсутність «нульового» ризику водозабезпечення споживачів, наявність вірогідності труднощів водопостачання в періоди межені.

### **Контрольні запитання і завдання:**

1. Визначити на карті України основні об'єкти антропогенного походження, що знаходяться в межах басейну річки Південний Буг.
2. Перелічити види антропогенного впливу на річку за рисунком 3.9.1.
3. Побудувати графік залежності  $W=f(\tau)$ , за даними таблиці 3.9.1 (табл. 3.9.2, табл. 3.9.3)
4. Проаналізувати вплив Олександрівської греблі на гідрологію річки по графіках.
5. Що називають коефіцієнтом нерівномірності витрат?
6. Виконати аналіз рисунка 3.9.2 (3.9.3; 3.9.4).
7. Вказати розмірність енергетичного показника повені (табл. 3.9.5).

### **3.10. Визначення екологічних ризиків водозабезпечення в екологічних системах**

- міжнародний досвід використання річок для потреб гідро- та атомної енергетики;
- задачі статистичної обробки гідрологічних даних;
- критерій Стьюдента та його модифікації;
- метод різницевої інтегральної кривої;
- визначення вірогідності події;
- зв'язок гідрології, гідрохімії та гідробіології;
- визначення господарського ризику.

З точки зору принципів сталого розвитку та закономірностей функціонування річки, створення гідротехнічних споруд в її басейні (особливо для енергетичних потреб) не можна вважати екологічно безпечною альтернативою сучасній концепції енерговиробництва. На підтвердження цієї думки наведемо декілька негативних прикладів зі світової практики. Це гідроелектростанція «Three Gorges Dam» на річці Янцзи у Китаї (інтенсивнішими стали процеси евтрофікації, почастішали зсуви ґрунтів, зруйновано шляхи міграції осетрових видів риб, затоплено близько 1300 археологічних об'єктів), Цимлянське водосховище на річці Дон у Росії (збільшення солоності вод Азовського моря та зменшення його продуктивності), десятки водосховищ на річках Сирдар'я та Амудар'я знищили Аральське море. Власне, ситуація є типовою для держав, у яких гідроенергетична галузь є однією з найрозвиненіших. Це Китай, Бразилія, США, Росія, Індія.

Зарегулювання русла річок для потреб атомної або гідроенергетики є досить типовою та поширеною для більшості країн світу практикою,

у т. ч. й України. У розрізі цього, актуальним є визначення причинно-наслідкових зв'язків у системі «людина – природа» на рівні регіону. Зокрема, розрахунки господарського ризику для техногенного водокористувача дозволять виявити ступінь небезпечності екологічної ситуації в басейні річки.

На основі аналізу якісних та кількісних показників нижньої течії річки Південний Буг, доведено, що стан навколишнього середовища (якість навколишнього середовища або рівень екологічної безпеки) у Миколаївському регіоні має негативний тренд, тобто погіршується.

Для підтвердження наведених висновків, використовуючи інструменти статистики, у середовищі програмування R, яке поступово стає загально визнаним світовим стандартом при проведенні технічних розрахунків, здійснено аналіз впливу (значимості) «глухого» зарегулювання русла річки та будівництва Южно-Українського енергокомплексу у 80–90-х роках ХХ століття на рівень забезпеченості її середньомісячного та середньорічного стоку у нижній течії (від м. Вознесенська до м. Миколаєва).

Маючи масив даних за 80 років (додаток 3), більше 28 тис. значень (1936–2016 рр.), виокремлено дві вибірки: за 1936–1983 рр. (до початку будівництва зазначених техногенних об'єктів, вектор  $x_1$ ) та 1984–2016 рр. (після початку будівництва, відповідно, вектор  $x_2$ ).

За допомогою критерію Стьюдента, функції *t.test* у середовищі R, проведено перевірку впливу фактору зарегулювання на річний гідрологічний режим річки Південний Буг шляхом порівняння двох залежних (парних) вибірок:

```
> x1<-c(70.58,112.25,250.27,216.11,72.64,57.75,62.98,51.86,49.58,61.36,64.65, 67. 91)
```

```
> x2<-c(83.12,97.00,131.51,129.48,64.67,58.46,53.46,42.06,52.62,78.19,72.29,71.91)
```

```
> t.test(x1,x2,paired=TRUE)
```

```
Paired t-test
```

```
data: x1 and x2
```

```
t = 1.4047, df = 11, p-value = 0.1877
```

```
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
```

```
95 percent confidence interval:
```

```
-9.597608 43.459274
```

```
sample estimates:
```

```
mean of the differences
```

```
16.93083
```

Зазначимо, що залежними (парними) є вибірки, які містять результати вимірювань якої-небудь ознаки, виконані на одних і тих самих об'єктах до та після експерименту. За такої схеми експерименту, дослідник більш точно оцінює ефект дії саме тому, що відслідковує його на одному і тому ж об'єкті (об'єктах).

Незважаючи на те, що за висновками програмного забезпечення альтернативна гіпотеза підтверджена (*alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0*), тобто різниця вибірових середніх двох вибірок не дорівнює нулю, не можливими є від'ємні значення витрат води, які є нижньою межею 95 %-го довірчого інтервалу:

95 percent confidence interval:

-9.597608 43.459274.

Тому, було вирішено використати одновибірковий t-критерій: оцінено значимість зміни середніх витрат води у річці П. Буг після спорудження Южно-Українського атомного енергокомплексу (ЮУ АЕК) (середньомісячні значення за 1984–2016 роки), визначивши середні витрати води за 1936–1983 роки на рівні 94,83 м<sup>3</sup>/с ( $\mu = 94.83$ ):

```
> t.test(x2,mu=94.83)
```

```
One Sample t-test
```

```
data: x2
```

```
t = -2.0429, df = 11, p-value = 0.06577
```

```
alternative hypothesis: true mean is not equal to 94.83
```

```
95 percent confidence interval:
```

```
59.65507 96.13993
```

```
sample estimates:
```

```
mean of x
```

```
77.8975
```

У цьому випадку однопараметричний аналіз за критерієм Стьюдента показує, що імовірність отримати таке (або більше) значення t за умови, що досліджувана нульова гіпотеза вірна (тобто зарегулювання і експлуатація ЮУЕК не впливає на рівень витрат води в нижній течії річки), виявилася досить малою:  $p\text{-value} = 0.06577$  (на рівні, близькому до 5 %). Відповідно, можемо відхилити нульову гіпотезу і прийняти альтернативну (*alternative hypothesis: true mean is not equal to 94.83*). У такому разі, ризик помилки складає близько 6,5 %.

Окрім t-критерію, кількості ступенів свободи ( $df = 11$ ),  $p$ -значення і вибірового середнього (*sample estimates: mean of x*), програма розраховувала 95 %-ий довірчий інтервал (*95 percent confidence interval*) для істинної різниці між вибіровим середнім значенням витрат води у річці і тим, що визначено до спорудження ПУ АЕС. Відповідно до цього, багаторазово проводячи аналогічний тест для умов, коли ЮУ АЕК експлуатується разом із Ташлицькою водоймою-охолоджувачем і Олександрівським водосховищем (після 2006 року), то середньорічне значення витрат води коливатиметься у діапазоні від 59.65 до 96.14 м<sup>3</sup>/с у 95 % випадків.

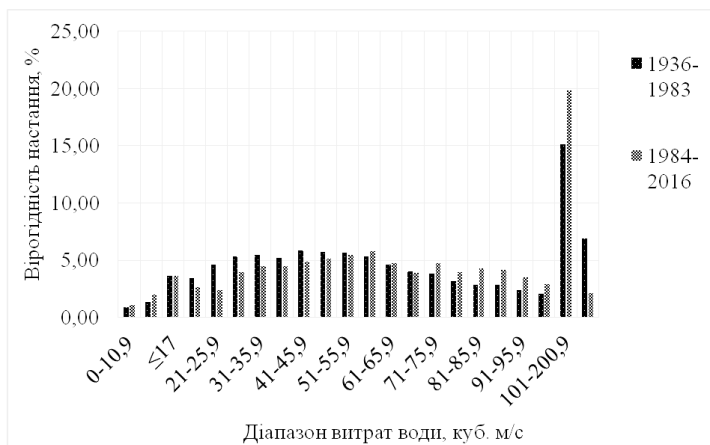
Як зазначено у першому розділі, тиск на водну екосистему виникає тоді, коли об'єм водозабору з річки перевищує третину річкового стоку. Оскільки середньорічний багаторічний стік Південного Бугу знаходиться на рівні  $2,8 \text{ км}^3$ , неважко розрахувати мінімальне середньорічне значення витрат води у ньому, яке забезпечить  $2/3$  стоку:

$$2,8 \cdot 2 : 3 = 1,87 \text{ км}^3$$

$$1,87 \text{ км}^3 : 31536000 \text{ с} = 59,3 \text{ м}^3/\text{с}$$

Важливим етапом в процесі прогнозування впливу техногенних об'єктів, зокрема енергетичних, на цілісність досліджуваної водної екосистеми є визначення ризиків порушення сталого потоку екосистемних послуг: у цьому випадку – витрат води в річці на рівні  $20 \text{ м}^3/\text{с}$ . Адже відомо, що експлуатація трьох блоків ПУ АЕС щосекунди потребує  $3 \text{ м}^3$  води, яка йде на охолодження енергоблоків та одразу ж випаровується. Це найнижча межа «безпечної» водності, оскільки за таких умов в нижній течії річки Південний Буг ще можливо забезпечити санітарний попуск на рівні  $17 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Спираючись на масив фактичних даних (більше 28 тис. значень) добових витрат води за 80 річний період (1936–2016 роки), побудовано їх вірогіднісний розподіл, який характеризується кривою нормального розподілу зі зміщенням ліворуч – в область низьких значень. При цьому у 1936–1983 рр. зміщений ліворуч розподіл значень витрат води був виражений чіткіше. Це пояснюється тим, що водосховище, у цьому випадку, виконує функцію вирівнювання стоку («регулювання небезпечної дії вод») протягом усього року (рис. 3.10.1).

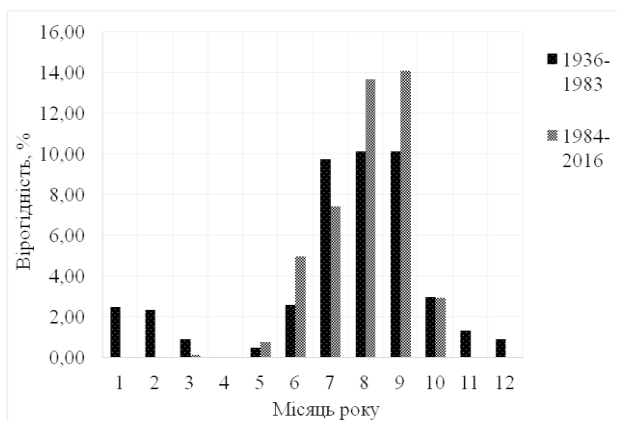


**Рис. 3.10.1.** Річний вірогіднісний розподіл витрат води у р. П. Буг



Варто зазначити, що у 2007 році середньодакдні витрати води у річці Південний Буг за даними гідропосту у селі Олександрівка Вознесенського району Миколаївської області були  $15,2 \text{ м}^3/\text{с}$  протягом 20 днів і  $12 \text{ м}^3/\text{с}$  – 10 днів, у 2012 –  $10,3 \text{ м}^3/\text{с}$  протягом 60 днів, а в 2015 – менше  $17 \text{ м}^3/\text{с}$  протягом 126 днів.

На рисунку 3.10.1 можна побачити, що з-поміж діапазонів є три позиції, які потребують пояснення. У першому випадку ( $W \leq 17$ ) акцентовано увагу на групі значень, які менше або дорівнюють величині встановленого санітарного попуску нижче греблі Олександрівської ГЕС. Більш детальний аналіз вірогідності витрат води менше санітарного попуску у меженний період (травень–жовтень) представлено на рисунку 3.10.2.



**Рис. 3.10.2.** Вірогідність (%) витрат води нижче санітарного попуску ( $17 \text{ м}^3/\text{с}$ ) протягом року

У другому ( $101 < W < 200,9$ ) та третьому ( $W > 201$ ) випадках – з метою забезпечення розбірливості і показовості рис. таким чином виконано ущільнення діапазонів.

Відзначимо, що після введення в експлуатацію ІОУ АЕК водність річки почала зменшуватись. І в даному випадку можна виділити дві основні причини: значні потреби у воді для охолодження атомних реакторів, особливо у теплий період року (від  $3 \text{ м}^3/\text{с}$ , плюс випаровування з водного дзеркала водосховищ), та глобальні зміни клімату, які характеризуються збільшенням екстремумів температур у літній та осінній період.

На предмет останнього, аналогічні думки знаходимо у роботах Бойченко С. Г. (2015; 2016; 2017).

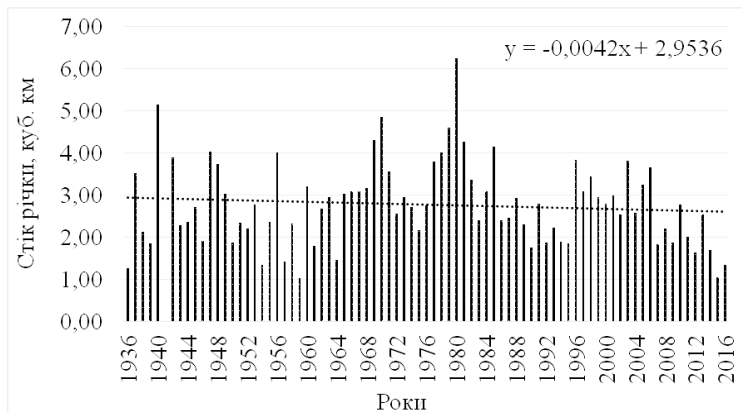


Рис. 3.10.3. Динаміка стоку річки П. Буг за 1936–2016 рр

Аналіз тренду річкового стоку за період у 80 років (додаток Е) з використанням програмного забезпечення MS Excel (рис. 3.10.3) підтверджує вищенаведені розмірковування. Однак, для надання більшої вагомості наведеній думці, пропонуємо використати додатковий метод.

Так, для виявлення циклічності кліматичних явищах і гідрологічних показників водних об'єктів часто використовують метод різницевої інтегральної кривої. Його сутність полягає в тому, що спочатку для цього ряду спостережень виконується обчислення модульних коефіцієнтів ( $K$ ):

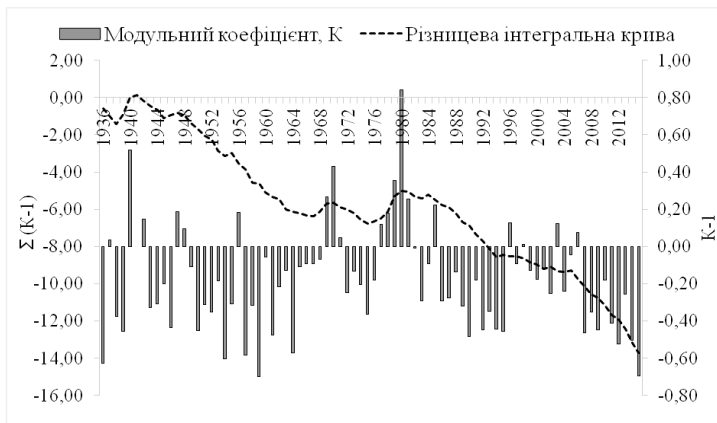
$$K = \frac{M_i}{M_{cp}}, \quad (3.12.1)$$

де,  $M_i$  – певне значення досліджуваного ряду,  $M_{cp}$  – середнє значення ряду.

Потім визначають їх відхилення від середини ( $K - 1$ ) і нарешті, проводиться побудова інтегральної кривої шляхом послідовного підсумовування цих відхилень за виразом:

$$f(t) = \sum_{i=1}^n (K - 1), \quad (3.12.2)$$

Таким чином різницева інтегральна крива є наростаючою сумою відхилень модульних коефіцієнтів від середнього багаторічного значення ряду на кінець кожного  $M_i$  року. Позитивні значення відхилень модульних коефіцієнтів при підсумовуванні за інтервал часу дають нахил різницевої інтегральної кривої вгору відносно горизонтальної лінії, а негативні – нахил кривої вниз (рис. 3.10.4).



**Рис. 3.12.4.** Різницева інтегральна крива та графік модульних коефіцієнтів річного стоку річки Південний Буг за 1936–2016 роки

На рисунку 3.10.4, як за значеннями модульних коефіцієнтів, так і за різницевою інтегральною кривою, чітко простежується тенденція до поступового зменшення річкового стоку: у першому випадку кількість потраплянь значень модульних коефіцієнтів вище 0 стає меншою; а в другому – показовим є наявність ступінчастої низхідної ламаної кривої, відрізки якої дуже подібні до прямолінійної залежності.

Однак навіть 80 років спостережень недостатньо для чіткого виділення циклічності стоку, а лише гіпотетично припускати, що сучасне маловоддя на річці є подібним до 50–60 років ХХ століття (адже важко визначити вплив зарегулювання Дніпра у зазначеному часовому проміжку) і через 10–15 років знову настане повноводний цикл на Південному Бузі, або є результатом експлуатації ПУ АЕС.

Одним із досить імовірних наслідків маловоддя у нижній течії річки є підвищення концентрації забруднювальних речовин, які надходять у річку разом зі скидами господарсько-побутових стічних вод. Оскільки досить сильний обернений кореляційний зв'язок між середньомісячними витратами води та концентрацією фосфатів і загального фосфору, та прямий з нітратами, вже було виявлено у попередніх розділах роботи, підтвердимо цей умовивід шляхом порівняння двох вибірок через критерій Стьюдента у статистичному середовищі R. Зауважимо, що під час виконання двовибіркового t-тесту R за замовчення приймає, що дисперсії порівнюваних вибірок не рівні, і, як наслідок, виконує t-тест в модифікації Уелча (Welch Two Sample t-test). Нижче наведено програмний код виконання t-тесту на предмет значимості витрат води у формуванні концентрації фосфатів у нижній течії річки.

```

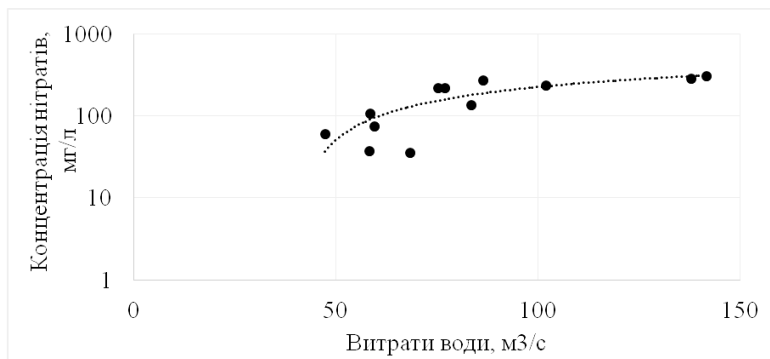
> d <- read.table ("clipboard",header=F, sep=";", col.names = c ("month",
"fosfaty", "water"))
> head(d)
  month fosfaty waterflow
1 1 0.1700 86.56
2 2 0.1480 102.04
3 3 0.0700 141.73
4 4 0.0578 137.99
5 5 0.0658 68.35
6 6 0.1160 59.50
> t.test(d$water,d$fosfaty)
Welch Two Sample t-test
data: d$water and d$fosfaty
t = 9.432, df = 11, p-value = 1.322e-06
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 63.5356 102.2136
sample estimates:
mean of x mean of y
83.0158333 0.1412167

```

Як бачимо, з 99 % впевненістю ( $p\text{-value} = 1.322e-06$ ) можна казати про те, що концентрація фосфатів у річці Південний Буг залежить від витрат води.

Апроксимація зв'язку середньомісячної концентрації нітратів і середньомісячних витрат води в річці у середовищі MS Excel (рис. 3.10.5) дозволила виявити досить значиму ( $R^2 = 0,7357$ ) математичну модель (3.10.3).

$$y = 252,49 \cdot \ln(x) - 936,96 \quad (3.10.3)$$



**Рис. 3.12.5.** Залежність концентрації нітратів від витрат води у гирлі річки Південний Буг

Наявність залежності підтверджується також аналізом у середовищі R, де вірогідність того, що за сучасних умов зі збільшенням витрат води в річці концентрація нітратів залишиться незмінною або зменшиться складає всього лише 2 % (p-value = 0.01817).

```
> t.test(d$nitraty,d$waterflow)
```

```
Welch Two Sample t-test
```

```
data: d$nitraty and d$waterflow
```

```
t = 2.7006, df = 13.007, p-value = 0.01817
```

```
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
```

```
95 percent confidence interval:
```

```
16.35484 147.13016
```

```
sample estimates:
```

```
mean of x mean of y
```

```
164.75833 83.01583
```

Основним результатом проведеного дослідження є те, що стік річки поступово зменшується і це явище з різною інтенсивністю буде спостерігатися впродовж найближчих 10–15 років. На це впливають, як було виявлено, як антропогенні, так і природні (кліматичні) фактори. Оскільки визначений ризик маловоддя сьогодні оцінено на рівні 43,60 % (близько 80 днів) для шести місяців (травень-жовтень), і у порівнянні з періодом 1936–1983 років він зріс на 7,67 %, необхідно вже зараз стратегічно підходити до розподілу водних ресурсів річки Південний Буг, особливо в розрізі сучасних тенденцій до нарощування промислового виробництва країни та потенційного збільшення населення в басейні водного об'єкта.

Головним завданням, як вже підкреслювалося, є інвентаризація та виведення з експлуатації «збиткових» водосховищ та ставків, які вже не виконують належним чином проектне функціональне призначення.

Визначення ризику – це імовірність настання небажаної події (тобто число між 0 та 1, інколи помножене на 100 для переведення у відсотки). Для оцінки фактичного ризику, ймовірність інтерпретується як відносна частота, тобто відношення кількості фактичних небажаних подій до загальної кількості можливих подій.

Екологічний ризик об'єктів господарювання в процесі проектування під час екологічної експертизи, зазвичай, обмежують розглядом надзвичайних ситуацій – землетрусів, повеней тощо. Прогнозування екологічних ризиків від погодних умов у межах динамічної рівноваги природних екосистем виконують сьогодні лише для сільськогосподарського виробництва. У дисертаційній роботі виконано аналіз впливу гідрологічних показників річки П. Буг на ризик водозабезпечення, тобто виконано прогнозування так званого господарського ризику водокористувачів у басейні річки.

Аналіз статистичних даних по більше ніж двадцяти семи тисячам вимірів за 80 років виявив, що крива нормального розподілу витрат води є асиметричною зі значним зсувом ліворуч, що означає відчутну перевагу імовірності межени перед повинню.

Меженний період охоплює шість місяців – з травня до жовтня. Тривалість витрат води нижче встановленого санітарного попущу (<17 м<sup>3</sup>/с) може спостерігатися від 1 до 126 днів (у 2015 році).

Господарський ризик, як один з видів екологічного ризику, характеризує небезпеку для об'єкта господарювання від загроз природного походження, наприклад, від нестачі річкової води, що споживається для задоволення технологічних потреб. Відповідно до Водного кодексу України саме такі водоспоживачі є першочерговими претендентами на обмеження водопостачання в критичні періоди.

Для річки П. Буг, як було зазначено, критичним будемо вважати зменшення витрат води до значень  $\leq 20$  м<sup>3</sup>/с, коли реальною стає загроза для існування водної екологічної системи.

Господарський ризик, як і будь-який інший, крім індивідуального, визначається залежністю (3.10.4):

$$R = B \cdot \Pi \quad (3.10.4)$$

де, B – вірогідність несприятливої для об'єкта події;

$\Pi$  – шкода, що загрожує об'єкта внаслідок події.

Об'єктами господарювання, що залежать від водопостачання з річки Південний Буг є комунальні господарства міст Первомайська, Південноукраїнська, Вознесенська, Нової Одеси і Миколаєва, промислові підприємства цих міст, жителі прибережних сіл, зрошувальні системи сільськогосподарського призначення. Характерною особливістю споживачів є збільшення потреб у воді в літній період, що ще більше загострює проблему господарського ризику щодо забезпечення водою в меженний період.

У системі річки П. Буг, як вже зазначалося, найпотужнішим споживачем води є ПУ АЕС, до складу якої входить Ташлицьке водосховище-охолоджувач та Олександрівське водосховище. При роботі АЕС лише одна третина виділеної енергії перетворюється на електричну, а дві третини відводяться в атмосферне повітря шляхом випаровування води з поверхні водосховища.

Для забезпечення роботи кожного з трьох ядерних блоків-мільйонників треба випаровувати близько одного кубометра води за секунду. Компенсація втрат води з Ташлицького водосховища здійснюється підкачкою з річки (Олександрівське водосховище). Візьмемо ПУ АЕС у якості прикладу для подальшого визначення господарського ризику.

## **Системний аналіз якості навколишнього середовища**

У формулі (3.10.5) шкода Ш враховує всі негативні наслідки вірогідної події. Для електростанції це перш за все зменшення продуктивності, тобто виробництва електроенергії, внаслідок тимчасового виведення з експлуатації блока (чи блоків) на період критичної межени згідно з залежністю (3.10.5).

$$Ш = z \cdot \tau \cdot 10^6 \text{ (кВт}\cdot\text{год)} \quad (3.10.5)$$

де,  $z$  – число ядерних блоків, що виводяться з експлуатації внаслідок критичного зменшення витрат води в річці;  $\tau$  – тривалість періоду відключення джерела електроенергії (годин).

У таблиці 3.10.1 наведено приклад розрахунку господарського ризику в меженний період.

*Таблиця 3.10.1*

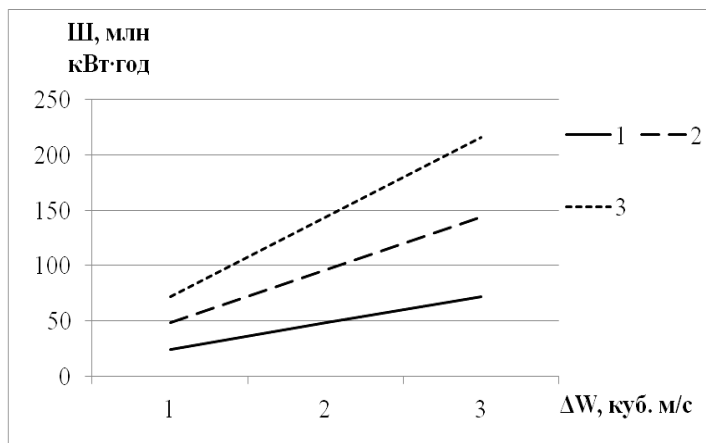
### **Визначення господарського ризику для ПУ АЕС**

| № | $W_m$ | $\Delta W$ | $B, \%$ | Зупинено блоків | Кількість днів | Ш, млн кВт·год | R, млн кВт·год |
|---|-------|------------|---------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | 19    | 1          | 55,93   | 1               | 1              | 24             | 13,42          |
| 2 |       |            |         |                 | 48             | 26,85          |                |
| 3 |       |            |         |                 | 72             | 40,27          |                |
| 4 | 18    | 2          | 48,4    | 2               | 1              | 48             | 23,232         |
| 5 |       |            |         |                 | 96             | 46,464         |                |
| 6 |       |            |         |                 | 144            | 69,696         |                |
| 7 | 17    | 3          | 43,6    | 3               | 1              | 72             | 31,392         |
| 8 |       |            |         |                 | 144            | 62,784         |                |
| 9 |       |            |         |                 | 216            | 94,176         |                |

Знаючи добову потужність кожного з енергоблоків (а це приблизно 1000 МВт), неважко визначити господарські ризики і збитки (в грошовому еквіваленті) для будь-якого періоду.

На рисунку 3.10.6 графічно представлені значення шкоди для ПУ АЕС внаслідок обмеження водоспоживання.

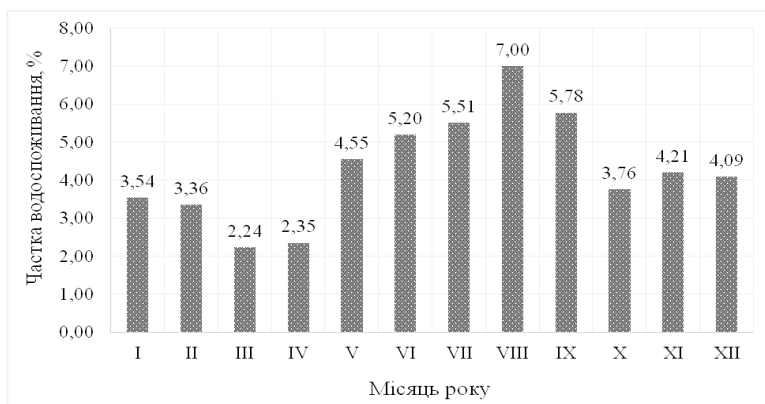
Відповідно, чим довше триватимуть обмеження у зв'язку з нестачею водного ресурсу, тим більших збитків зазнаватиме як підприємство, так і дотичні до неї галузі промисловості. Проте, оскільки сьогодні економічний розвиток держави посідає пріоритетне місце, оцінити збитки, завдані водній екологічній системі, можна лише приблизно, на основі деяких речовинних та енергетичних потоків. Але навіть значення проведеної оцінки частини екосистемних послуг нижньої течії річки Південний Буг майже ідентичне річній продуктивності ПУ АЕС.



**Рис. 3.10.6.** Залежність зменшення електровиробництва (Ш) від скорочення забору води з річки  $\Delta W$ :

- 1 – тривалість обмеження 1 доба, не працює один блок;
- 2 – тривалість обмеження 2 доби, на працює 2 блока;
- 3 – тривалість обмеження 3 доби, зупинка АЕС

Не складно визначити й щомісячну споживчу частку ПУ АЕС з річки: якщо за секунду техногенний об'єкт споживає  $3 \text{ м}^3/\text{с}$ , то за рік –  $94608000 \text{ м}^3$ . Із цього випливає, що на кожен місяць року припадає приблизно  $7884000 \text{ м}^3$ . Знаючи середньомісячні витрати води в Південному Бугу після зарегулювання (дані за 1984–2016 рр.), отримуємо такий розподіл (рис. 3.10.7).



**Рис. 3.10.7.** Об'ємна частка водозабору ПУ АЕС з річки Південний Буг упродовж року



Зіставивши рис. 3.10.2 та рис. 3.10.7, можна побачити, що найбільш несприятливими і небезпечними для цілодобової роботи ПУ АЕС є чотири місяці: червень, липень, серпень і вересень.

Сучасний низький рівень екологічної безпеки (який продовжує погіршуватися) Миколаївського регіону викликаний такими факторами:

- збільшення водозабору для потреб промисловості у верхній течії Південного Бугу;
- нехтування потребами власне екологічної системи річки у воді;
- відсутність належного контролю і систем моніторингу джерел забруднення водного об'єкта;
- високий рівень зарегулювання басейну;
- неврахування закономірностей функціонування водної та прилеглих природних комплексів і систем;
- незбалансований і несистемний підхід до природокористування;
- відсутність стратегії розвитку і піклування про водні ресурси.

Це дозволяє стверджувати про те, що річка Південний Буг у найближчій перспективі може повністю втратити своє рекреаційне, культурне, рибогосподарське та частково – промислове значення.

Ситуація, яка склалася в басейні річки, є певною мірою унікальною. Незважаючи на відносно малу водність річки, сухе посушливе літо, особливості ландшафту і прилеглих екосистем, ЮУ АЕК з трьома енергоблоками і двома водосховищами в кінці ХХ століття був уведений в експлуатацію. При цьому одне з водосховищ має греблю, яка повністю перегороджує русло річки Південний Буг. Цей техногенний об'єкт вважаємо основною причиною зменшення біорізноманіття флори і фауни річки, рекреаційної і туристичної привабливості Миколаївського регіону України та гідрологічного режиму підземних вод.

У світовій практиці існують схожі приклади, коли атомну електростанцію (АЕС) будують на березі річки або водосховища (назвемо їх внутрішніми АЕС). Однак підхід до цього процесу значно відрізняється.

Зазвичай АЕС проєктуються поряд з морем чи океаном, тому внутрішніх АЕС у світі небагато. Найбільше їх у США, Європі та країнах пострадянського простору. Аналізуючи on-line карту розміщення атомних станцій світу, важко не помітити відмінність підходу західних країн від українського і російського досвіду до розміщення АЕС на березі річки.

Подібною до ПУ АЕС є Cooper Nuclear Station (Nebraska, Missouri River), яка також розміщена в зоні степу. Проте, це не зумовило створення водосховища. Подібні техногенні об'єкти знаходяться в Індії (Narora Atomic Power Station, Gang River) та Бразилії (Central Nuclear Atucha I, Parana River). Відмінність полягає тільки у більшій водності річки.

Щодо розміщення атомних станцій у комплексі з водосховищами, то світова практика також відмінна. Зазвичай спочатку створювалось водосховище, а потім вже АЕС (Ростовська АЕС, р. Дон, Росія; Балаковская АЕС, р. Волга, Росія; Запорізька АЕС, р. Дніпро, Україна). Лише в Індії (Rajasthan Atomic Power Station, Chambal River) водосховище створювали для АЕС.

У країнах Європи немає жодного прикладу створення водосховища для задоволення потреб у воді атомної електростанції.

Відтак, в умовах сьогодення, коли попит на атомну та гідроенергію відновлюється, актуальність аналогічних досліджень на рівні регіону зростає.

Оскільки було виявлено, що в світовій та українській практиці існує дуалістичність підходу до функціонування АЕС на річках, відкритим залишається питання об'єктивності оцінки та фіксації екологічних змін, які відбуваються у природних та соціоекологічних системах.

Результати проведеного дослідження дозволяють вдосконалити існуючі підходи до визначення ризиків водозабезпечення атомних техногенних об'єктів у зоні Степу.

### ***Контрольні запитання і завдання:***

1. Яке цільове призначення більшості руслових водосховищ України?
2. Яку принципово важливу властивість річки повністю нівелюють руслові водосховища?
3. Чи можна вважати гідроенергетику альтернативним джерелом енергії щодо теплових електростанцій?
4. Чи можна вважати атомну енергетику альтернативним джерелом енергії щодо теплових електростанцій?
5. У чому різниця між однопараметричним і двопараметричним критерієм Стьюдента?
6. Що треба розуміти під «нульовою гіпотезою»?
7. У яких природничих науках та з якою метою використовується метод різницевої інтегральної кривої?
8. У чому відмінність понять «физик» та «вірогідність (імовірність)»?
9. Обґрунтуйте абсурдність експлуатації Южно-Українського атомного енергокомплексу в заданих природно-кліматичних умовах?
10. Наведіть приклади річок у межах України, які «страждають» від наявності руслових водосховищ. Проаналізуйте проблему з позицій гідрохімії, гідрофізики, гідробіології та кліматології.

## Список рекомендованой литературы

---

### *Основна*

1. Голубець М. А. Екосистемологія / М. А. Голубець – Львів : Поллі, 2000. – 316 с.
2. Добровольський В. В. Основи теорії екологічних систем : Навчальний посібник / В. В. Добровольський. – К. : ВД «Професіонал», 2005. – 272 с.
3. Добровольський В. В. Екологічний ризик: оцінка і управління: Навчальний посібник / В. В. Добровольський – Миколаїв : Видавництво ЧДУ ім. Петра Могили, 2010. – 216 с.
4. Реймерс Н. Ф. Экология. Теория, законы, правила и гипотезы / Н. Ф. Реймерс – М. : Россия молодая, 1994. – 578 с.
5. Чернова Н. М. Экология : учеб. пособие / Н. М. Чернова, А. М. Белова. – М. : Просвещение, 1988. – 272 с.
6. Одум Ю. Экология / Ю. Одум – М. : Мир, 1986. – Т.1. – 328 с ; Т.2 – 376 с.

### *Додаткова*

1. Будыко М. И. Эволюция биосферы / М. И. Будыко – Л. : Гидрометеоздат, 1984. – 488 с.
2. Вернадский В. И. Биосфера и ноосфера / В. И. Вернадский – М. : Наука, 1989. – 261 с.
3. Гайнріх Д. Екологія : div-Atlas / Д. Гайнріх, М. Герт – К. : Знання-Прес, 2001. – 287 с.
4. Голубець М. А. Загальна схема механізмів саморегуляції в живих системах біосфери / М. А. Голубець // Вісник АН УРСР. – 1978, № 1. – с. 76–85.
5. Коммонер Б. Замыкающийся круг / Б. Коммонер – Л. : Гидрометеоздат, 1974. – 246 с.
6. Лукьянов О. А. К проблеме оценки качества и состояния нарушенных экосистем / О. А. Лукьянов // Животные в условиях антропогенного ландшафта. – Свердловск : УрОАН СССР, 1990. – с. 61–69.
7. Мэй Р. М. Эволюция экологических систем / Р. М. Мэй // Эволюция. – М. : Мир, 1981. – с. 173–194.

*Навчальне видання*

**Добровольський В. В.,  
Безсонов Є. М.**

**Системний аналіз якості  
навколишнього середовища**

---

Навчальний посібник

---

Редактор *Я. Котенко*

Технічний редактор, комп'ютерна верстка, дизайн обкладинки *Н. Хасянова*.  
Друк, фальшовально-палітурні роботи *С. Волинець*.

Підп. до друку 26.12.2018.

Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Папір офсет.

Гарнітура «Times New Roman». Друк ризограф.

Ум. друк. арк. 9,53. Обл.-вид. арк. 7,28.

Тираж 300 пр. Зам. № 5688.

54003, м. Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10.

Тел.: 8 (0512) 50-03-32, 8 (0512) 76-55-81, e-mail: rector@chmnu.edu.ua.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6124 від 05.04.2018.