

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Львівський національний університет імені Івана Франка  
Геологічний факультет  
Кафедра екологічної та інженерної геології та гідрогеології

**Василь Дяків**

**Навчальний посібник  
з курсу  
«Екологічна безпека»  
Частина 1.**

для студентів 2-го курсу спеціальності 6. 070801  
“Екологія та охорона навколишнього середовища”

Видавництво ПП «Кварт»  
м. Львів, 2011

ББК Е081.28

УДК 504.064.2:550.3(621.039.7)

**Рецензенти:**

д-р геол. наук, проф. *Ф.В. Зузук*

(Волинський національний університет ім. Л. Українки)

д-р геол.-мін. наук, проф. *О.І.Матковський*

(Львівський національний університет ім. І. Франка)

канд. геол.-мін. наук *А.М.Гайдін*

(Відділення гірничо-хімічної сировини Академії гірничих наук України)

Кафедра екологічної та інженерної геології та гідрогеології

**Навчальний посібник з курсу «Екологічна безпека». Частина 1 для студентів 2-го курсу спеціальності 6. 070801 «Екологія та охорона навколишнього середовища»**

/ Укладач В.О.Дяків – Львів: Вид-во ПП «Кварт», 2011. – с.90

Рис.37; Табл. 7; Бібліограф. назв. 38.

У першій частині навчального посібника з курсу «Екологічна безпека» висвітлено актуальні проблеми вивчення та основні поняття і положення базового нормативного курсу «Екологічна безпека», що читається для студентів 2-го курсу спеціальності 6. 070801 «Екологія та охорона навколишнього середовища». Викладено методи прогнозу, попередження, виявлення, запобігання природних та техногенних небезпек, мінімізації їх негативних екологічних наслідків, а також способи забезпечення екологічної безпеки. Розглянуто критерії оцінки екологічного стану територій та ймовірних екологічних ризиків. Для студентів екологічних, географічних, геологічних і біологічних спеціальностей вищих навчальних закладів освіти, а також усіх, хто цікавиться проблемами екологічної безпеки.

Рекомендовано до друку вченою радою геологічного факультету ЛНУ імені Івана Франка (протокол №77/05 від 31.05.11)

© Дяків В.О., 2011

© ПП «Кварт»., 2011

## ВСТУП

Курс «Екологічна безпека» є базовою нормативною дисципліною, одним з найважливіших курсів серед дисциплін екологічного спрямування у підготовці фахівців зі спеціальності "Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування" на другому курсі навчання. Викладається в *IV семестрі в обсязі 186 год, з яких відведено на лекції – 36 год, лабораторні заняття – 16 год та самостійну роботу – 138 год.* Закінчується іспитом після *IV семестру.* За умови успішного опанування дисципліни студенту присвоюється 3,0 кредита ECTS.

Екологічна безпека – це наука, що вивчає діяльність людини у довкіллі, природні та техногенно-зумовлені стани та процеси, на предмет їх прямого чи опосередкованого впливу на природне навколишнє середовище, окремих людей, їх спільнот та людство загалом на предмет загрози життєво важливих втрат (або погрозам таких втрат). З іншого боку екологічна безпека – це комплекс станів, явищ і дій, що забезпечує екологічний баланс на Землі і в будь-яких її регіонах на рівні, до якого фізично, соціально-економічно, технологічно і політично готове (може без серйозних втрат адаптуватися) людство, є складовою частиною національної (державної) безпеки країни та визначається як забезпечення екологічно та техногенно безпечних умов життєдіяльності громадян і суспільства, збереження навколишнього природного середовища та раціональне використання природних ресурсів. Сучасні екологічні проблеми стану ґрунтів, води, повітря, космічного простору визначають екологічну безпеку як невід’ємну частину сталого розвитку людства та глобальної екосистеми, збереження та відтворення навколишнього природного середовища для майбутніх поколінь. Проблема безпеки – одна з глобальних проблем людства, безпосередньо пов’язаної з його виживанням. Її властивий системний характер, а отже, вона потребує розгляду під кутом зору різних наук.

**Головне завдання курсу:** засвоєння студентами основних характеристик ймовірних кризових екологічних ситуацій, шкідливих або загрозливих для життя та здоров’я людей, живих організмів і їх спільнот станів, вивчення систем спостереження і контролю за станом навколишнього природного середовища з метою розробки природоохоронних заходів, раціонального використання природних ресурсів, природних та техногенних комплексів та об’єктів. Крім того, при вивченні курсу студенти повинні знати та уміти оцінювати та прогнозувати стан довкілля, загальні закономірності виникнення і розвитку небезпек, надзвичайних ситуацій, їх властивості, можливий вплив на життя і здоров’я людини та сформулювати необхідні в майбутній практичній діяльності спеціаліста уміння і навички для їх ліквідації і запобігання їм, захисту людей та навколишнього середовища.

В рамках курсу «Екологічна безпека» вирішуються наступні **завдання:**

- **методичні:** розгляд основних характеристик навколишнього середовища, виявлення загальних закономірностей виникнення небезпек, їх властивостей, наслідків їх впливу на організм людини, основ захисту здоров’я та життя, довкілля від небезпек;
- **пізнавальні:** встановити причинно-наслідкові зв’язки між будовою та функціями екотопу, його розвитком у природних умовах та в умовах техногенного впливу та з адаптацією до умов проживання людини;

- **практичні:** уміння приймати управлінські рішення, застосовувати захисні засоби та заходи в умовах надзвичайних ситуацій та для підтримки норм екологічної безпеки, створення і підтримки безпечних умов життя і діяльності людини як у звичайних умовах побуту та виробництва, а також в умовах стихійних лих та техногенних катастроф.

**Об'єкти вивчення екологічної безпеки:**

- 1) природне навколишнє середовище та природні ресурси.
- 2) середовище життя людини та спільноти людей (населений пункт, територія).
- 3) ризики, небезпеки і надзвичайні ситуації в системі «людина – навколишнє середовище»;

**Предметом вивчення є:**

- 1) природні та антропогенні чинники активізації стихійних лих та техногенних катастроф, причинно-наслідкові зв'язки;
- 2) прогноз, попередження, захист, поведінка в умовах надзвичайних ситуацій та ліквідація їх наслідків

Курс забезпечує знання про основні джерела небезпеки у довкіллі як у природних умовах, так і умовах техногенного впливу, що призводять до порушення норм екологічної безпеки. Подається характеристика природних, техногенних, соціально-політичних та комбінованих небезпек. Особливу увагу приділено питанням запобігання надзвичайним ситуаціям, організації дій для усунення їхніх негативних наслідків

## **РОЗДІЛ І. НОРМАТИВНО-ПРАВОВА ОСНОВА ТА ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ**

**Нормативно-правова основа екологічної безпеки.** Згідно статті 16 Конституції України забезпечення екологічної безпеки населення є обов'язком держави: *«Забезпечення екологічної безпеки і підтримання екологічної рівноваги на території України, подолання наслідків Чорнобильської катастрофи як катастрофи планетарного масштабу, збереження генофонду Українського народу є обов'язком держави.»*

Згідно статті 92 Конституції України норми та правовий режим екологічної безпеки в Україні регулюються виключно законами.

Серед законів що регулюють норми екологічної безпеки насамперед належать природно-ресурсні кодекси — земельний, лісовий, водний, повітряний кодекси, кодекс законів про надра, а також закони:

- Про надзвичайний стан;
- Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру;
- Про охорону навколишнього природного середовища;
- Про екологічну експертизу;
- Про охорону атмосферного повітря;
- Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи;
- Про дозвільну діяльність у сфері використання ядерної енергії;
- Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення;
- Про відходи;

- Про перевезення небезпечних вантажів;
- Про захист рослин;
- Про основи містобудування;
- Гірничий закон України

Постанова Верховної Ради України «Про Основні напрями державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки» та цілий ряд інших законів, підзаконних і нормативних актів.

Загалом нормативно-правова основа екологічної безпеки нашої держави ґрунтується на законодавчих та нормативних актах превентивного характеру, які, покликані відігравати роль «запобіжника» для попередження негативному впливу техногенної діяльності на навколишнє природне середовище та мінімізації наслідків природних катаклізмів.

**Екологічні аспекти національної безпеки.** Під терміном національна безпека – розуміють захищеність життєво важливих інтересів людини і громадянина, суспільства і держави, за якої забезпечуються сталий розвиток суспільства, своєчасне виявлення, запобігання і нейтралізація реальних та потенційних загроз національним інтересам. У цьому сенсі екологічна безпека – є складовою частиною національної (державної) безпеки країни та визначається як забезпечення екологічно та техногенно безпечних умов життєдіяльності громадян і суспільства, збереження навколишнього природного середовища та раціональне використання природних ресурсів. До екологічних проблем, що своїм корінням зачіпають основи національної безпеки України належать:

1) значне антропогенне порушення і техногенна перевантаженість території України, зростання ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характерів;

2) нераціональне, виснажливе використання мінерально-сировинних природних ресурсів як невідновлюваних, так і відновлюваних;

3) неподоланність негативних соціально-екологічних наслідків Чорнобильської катастрофи;

4) погіршення екологічного стану водних басейнів, загострення проблеми транскордонних забруднень та зниження якості води;

5) загострення техногенного стану гідротехнічних споруд каскаду водосховищ на р. Дніпро;

6) неконтрольоване ввезення в Україну екологічно небезпечних технологій, речовин, матеріалів і трансгенних рослин, збудників хвороб, небезпечних для людей, тварин, рослин і організмів, екологічно необґрунтоване використання генетично змінених рослин, організмів, речовин та похідних продуктів;

7) неефективність заходів щодо подолання негативних наслідків військової та іншої екологічно небезпечної діяльності;

8) небезпека техногенного, у тому числі ядерного та біологічного тероризму;

9) посилення впливу шкідливих генетичних ефектів у популяціях живих організмів, зокрема генетично змінених організмів, та біотехнологій;

10) застарілість та недостатня ефективність комплексів з утилізації токсичних і екологічно небезпечних відходів;

**Екологічна безпека як невід’ємна частина міжнародної безпеки.** Сучасні екологічні проблеми стану ґрунтів, води, повітря, космічного простору визначають екологічну безпеку як невід’ємну частину сталого розвитку людства та глобальної

екосистеми, збереження та відтворення навколишнього природного середовища для майбутніх поколінь. Проблема безпеки – одна з глобальних проблем людства, безпосередньо пов'язаної з його виживанням. Їй властивий системний характер, а отже, вона потребує розгляду під кутом зору різних наук (економіки, політики, юриспруденції, військової справи).

До чинників, що зумовлюють розгляд проблем екологічної безпеки на міждержавному та міжнародному рівнях належать:

1) глобальна екологічна криза, пов'язана зі зростанням навантажень на життєзабезпечуючі системи і відтворювальні природні ресурси планети, з деградацією довкілля та підривом стійкості біосфери, є такою ж серйозною загрозою, як і традиційні загрози військового характеру;

2) загальнопланетарний характер екологічних проблем, що загрожує не тільки гідному існуванню людини, але і самому життю;

3) транскордонний характер екологічних проблем: повітря, Світового океану, поверхневих вод суші, біологічного різномайття;

4) загострення екологічної ситуації та конкуренція за ресурси в різних регіонах світу стає причиною соціальної та політичної нестабільності, міждержавних протиріч та насильницьких конфліктів.

**Масштабність розгляду питань екологічної безпеки.** Екологічна безпека може бути розглянута в наступних масштабах:

- ГЛОБАЛЬНОМУ (демографічна, викиди парникових газів, проблеми зміни клімату, забруднення Світового океану, загроза ядерної війни та ін.)
- РЕГІОНАЛЬНОМУ (Чорнобильська катастрофа, забруднення ґрунтів, води та повітря техногенно-навантажених регіонах)
- ЛОКАЛЬНОМУ (проблемні питання екосистем локального ієрархічного рівня: агро-, урбо-, техно- екосистем, повінь, землетрус, активізація вулкану)
- УМОВНО ТОЧКОВОМУ (вибух, пожежа, аварія, зсув, сель, спалах інфекційного захворювання).

**Теоретичні основи екологічної безпеки ґрунтуються на концепції сталого розвитку та емпіричних екологічних законах, що регламентують режим природокористування.**

**Концепція стійкого розвитку.** У червні 1992 р. у м. Ріо-де-Жанейро (Бразилія) пройшла Конференція ООН по навколишньому середовищу і розвитку, на якому представниками 172 країн прийняли Декларація по навколишньому середовищу і розвитку і Порядок денний на XXI сторіччя – програма переходу до стійкого розвитку. Таким чином, була документально оформлена й офіційно закріплена існуюча на протязі двох десятків років тенденція переходу від національних програм охорони природи окремих країн – до охорони біосфери в глобальному масштабі зусиллями більшої частини людства; ідеї стійкого розвитку пронизують усі документи цієї Конференції. Основними проблемами, які необхідно вирішити для досягнення цілей стійкого розвитку є:

- 1) Демографічна проблема.
- 2) Продукти харчування для населення Землі.
- 3) Збереження ґрунтового покриву.
- 4) Охорона водних ресурсів Землі.
- 5) Захист лісів, насамперед екваторіальних як легенів планети Земля.
- 6) Захист атмосфери Землі.
- 7) Вирішення проблеми відходів.
- 8) Ефективне використання енергії.

9) Розвиток промисловості виключно в умовах екологізації технологій.

10) Стабільність природних і антропогенних екосистем.

11) Збереження біологічної розмаїтості.

**Закон бумеранга.** Будь-яка зміна в природі, викликане господарською діяльністю людини, "повертається" у вигляді небажаних наслідків (наслідок принципу контрінтуїтивного поведіння складних систем Дж.Форрестера).

**Закони Б.Коммонера.**

**1. Все пов'язане з усім** (загальний зв'язок процесів і явищ у природі. глобальна екосистема являє собою єдине ціле, у рамках якого, ніщо не може бути вигране, або втрачене – - Перший закон Коммонера

**2. Все повинне кудись подітися** (природна система може розвиватися тільки за рахунок використання енергії й інформаційних ресурсів навколишнього середовища. Продукти життєдіяльності не повинні бути токсикантами для тих хто їх продукує) – - Другий закон Коммонера

**3. Природа "знає" краще** (поки ми не маємо абсолютно достовірної інформації про механізми і функції природи ми можемо їй нашкодити, намагаючись поліпшити). – Четвертий закон Коммонера

**4. Ніщо не дається даремно** (За все треба платити. речовина, енергія, інформація і якість екосистем зв'язані настільки, що будь-яка зміна одного з цих чинників викликає функціональні, структурні, якісні і кількісні зміни всіх систем (за які треба розплачуватись). «Глобальна екосистема являє собою єдине ціле, у рамках якого нічого не може бути вигране або втрачене і який не може бути об'єктом загального поліпшення: все, що було витягнуто з неї людською працею, повинно бути повернуто. Платежу по цьому векселю не можна уникнути; він може бути тільки відстрочений.» – Четвертий закон Коммонера.

**Наслідок з принципу Ле Шательє – Брауна: БУДЬ-ЯКА СКЛАДНА ТЕХНОГЕННА СИСТЕМА повинна мати кілька рівнів захисту (запобіжників), тобто бути РОЗРАХОВАНОЮ НА «ДУРНЯ»:** будь-яка дія персоналу не повинна призвести негативного впливу на довкілля.

## **РОЗДІЛ II. МЕТОДИ ОЦІНКИ СТАНУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

**Оцінки рівня екологічної безпеки методом зонування.** Для оцінки стану навколишнього середовища та визначення рівня його екологічної безпеки застосовують **метод зонування за різними екологічними критеріями** та виділяють чотири головні зони:

**1. Зона екологічної норми (Н),** стабільного екологічного стану, стану екологічної рівноваги – стійкі, стабільні, продуктивні саморегульовані території.

**2. Зона екологічного ризику (Р)** включає території з помітним зниженням продуктивності і стійкості екосистем, максимумом нестабільності, який надалі призводить до спонтанної деградації біоценозу, але з потенційною здатністю до самовідновлення в умовах скорочення господарського використання та зменшення антропогенного навантаження. Деградація земель спостерігається на 5–20 % площі.

**3. Зона екологічної кризи (К)** включає території з сильним зниженням продуктивності і втратою стійкості, з різко обмеженою здатністю до самовідновлення в умовах скорочення господарського використання та зменшення антропогенного навантаження, частковим господарським використанням та гострою потребою радикального покращення. Деградація земель спостерігається на 20-50 % площі.

**4. Зона екологічної біди – катастрофи (Б)** включає території з повною втратою продуктивності, практично незворотніми порушеннями екосистем, що повністю виключає використання території у господарських цілях, та потребують негайного покращення. Деградація земель перевищує 50 % площі. Зона екологічної біди – це території де в результаті господарської або іншої діяльності відбулися глибокі зміни навколишнього природного середовища, що призвели до істотного погіршення стану здоров'я населення, порушення природної рівноваги, руйнування природних екосистем, деградації флори і фауни.

Під критеріями оцінки стану навколишнього середовища розуміють стан окремих елементів довкілля, які здатні об'єктивно оцінити як міру антропогенного впливу на екосистему (продуктивність, інтенсивність біотичного колообігу, видове різноманіття, стійкість та ін.). Виділяються дві основні групи критеріїв – покомпонентні і комплексні.

До першої групи відносяться індикатори стану повітря, вод, ґрунтів і біогеоценотичного покриву в цілому. Особливе місце в цьому ряду займають біоіндикатори, по яких можна судити про стан навколишнього середовища. Як екологічні показники виступають життєвість і продуктивність виду або співтовариства, біорізноманітність, присутність або відсутність характерних видів та ін. По їх коливанню можна більш-менш достовірно встановити зміни природних комплексів під впливом природних і антропогенних чинників.

До другої групи екологічних критеріїв відносяться сумарні (інтегральні) показники, які характеризують екосистему в цілому.

Рослинні, зоологічні та ґрунтові індикатори зон екологічної норми, ризику, кризи і біди наведені у табл.1-3.

**Таблиця 1.**

Рослинні індикатори зон екологічної норми (Н), ризику (Р), кризи (К) і біди (Б),  
(за Б.В.Виноградовим).

<b>Індикатор</b>	<b>Н</b>	<b>Р</b>	<b>К</b>	<b>Б</b>
Погіршення видового складу природної рослинності	Природна зміна домінантів, субдомі-нантів і характер-них видів	Зменшення різноманіття домінантних особливо корисних видів	Зміна домінантних видів на вторинні, в основному не їстівні, бур'яни та отруйні	Зменшення великої кількості вторинних видів, корисних рослин практично немає
Відносна площа корінних (квазікорінних) асоціацій %	>60	40-60	20-30	<10
Проектне покриття пасовищної степової і напівпустельної рослинності % від нормального	>80	60-70	20-50	<10
Продуктивність пасовищної рослинності % від потенційної	>80	60-70	10-30	<5
Життєвість домінантів, бали	4-5	3-4	2-3	1-2
Перевантаження пасовищ, % від потенційної здатності	< 100	100-150	150-200	>200



Таблиця 2.

Зоологічні індикатори зон екологічної норми (Н), ризику (Р), кризи (К) і біди (Б),  
(за Б.В.Виноградовим).

Індикатор	Н	Р	К	Б
Частота антропозоонних захворювань	Випадкова	Спорадично реєструються не кожен рік і в окремих господарствах	Регулярно реєструються (щорічно і одночасно у ряді господарств і на маршрутах)	Масова (на території більше 50 %)
Небезпека антропозоонних захворювань	Немає небезпеки	По району менш небезпечні (токсоплазмоз, геморагічні лихоманки, лептоспіроз, бруцельоз, гельмінтози)	По області небезпечні (сказ, африканська і класична чума свиней, орнітоз)	По ареалу дуже небезпечні (чума, сибірська язва, ящур)
Падіж домашніх тварин	Випадково	Спорадичний	Регулярний	Масовий
Щільність популяції виду – індикатора антропогенного навантаження, % від початкової	<20	10-20	20-50	>50
Щільність популяції мишовидних гризунів - шкідників посівів і рознощиків хворіб, % від норми	<50	10-100	100-500	>500
Біомаса ґрунтової мезофауни % від норми	>90	60-80	30-50	<20
Життєвість еколо-гічних домінантів	4-5	3-4	2-3	1-2

Таблиця 3.

Ґрунтові індикатори зон екологічної норми (Н), ризику (Р), кризи (К) і біди (Б),  
(за Б.В.Виноградовим).

Індикатор	Н	Р	К	Б
Родючість ґрунтів % від потенційної	>85	65-85	65-25	<25
Вміст гумусу % від первинного	>90	70-90	30-70	<30
Вміст легкорозчинних солей, мас.%	<0,6	0,6-1,0	1,0-3,0	>3,0
Вміст токсичних солей, мас.%	<0,3	0,3-0,4	0,4-0,6	>0,6
Площа повторно засоленних ґрунтів %	<5	5-20	20-50	>50
Вміст пестицидів в ґрунті, ГДК	<0,5	0,5-1	1-3	>5
Вміст забруднюючих речовин в ґрунті, ГДК	<1	1-3	3-10	> 10
Залишковий вміст нафти і нафтопродуктів в ґрунті, мас.%	<1,0	1-5	5-10	>10
Глибина змитості ґрунтових горизонтів	Немає	Змитий горизонт А1 або 0,5 горизонту А	Змиті горизонти А і В і частково АВ	Змиті горизонти А і В
Глибина змитості % ґрунтового профілю	<10	10-30	30-50	>50
Площа вітрової ерозії, (повністю здуті ґрунти),%	<5	10-20	20-40	>40
Площа рухомих пісків %	<5	5-15	15-25	> 30

### Матричний метод оцінки рівня екологічної безпеки за Л.Леопольдом.

Матричний метод був запропонованої Геологічною службою США і призначеної для вирішення певного кола проблем які виникають при проектуванні та будівництві нових технологічних об'єктів. В якості стандарту була прийнята матриця американського гідролога Леопольда, яка у розгорнутому варіанті включає 100 найменувань впливів на компоненти природного середовища та реєстрації НАСЛІДКІВ (географічно-біологічних, соціально-економічних) негативного впливу (88 характеристик) на довкілля.

Матриця Леопольда і її варіанти являє собою таблицю, де по вертикалі вказані можливих дії (відведення води, будівництво доріг і т.д.), а по горизонталі – визначені потенційні елементи (показники якості) довкілля.

В первинному варіанті Матриці Леопольда по горизонталі були перераховані 100 дій, здатних вплинути на – 88 характеристик довкілля.

Дія, що відповідає певному чиннику описується через його АМПЛІТУДУ І ВАЖЛИВІСТЬ.

Амплітуда є мірою загального рівня: наприклад, споруда доріг змінить або шкідливо вплине на існуючу систему водостоку і, таким чином, може мати значний вплив на стік.

Важливість є мірою значущості окремої дії людини у кожному конкретному випадку. Важливість впливу конкретної дороги на стік може виявитися малою внаслідок малої довжини дороги або у тому що саме в даному конкретному випадку дорога не сильно перешкоджає стоку (табл.4).

**Таблиця 4.**

Спрощена матриця Леопольда (Leopold L.R., Clark F.A., Henshaw B.R., Balsey J.R. A Procedure for Evaluating Environmental Impact. US Geological Survey Circular 645, United States Geological Survey, Washington, DC, 1971)

дії проекту елементи довкілля	амплітуда		важливість		визначаються в одиницях від 1 до 10.										ЗАГАЛОМ
	вибухи, буріння	кар'єри, земляні роботи	збагачення мінеральної сировини	річковий транспорт	залізничний і автомобільний транспорт	океанічний транспорт	скид чи акумулювання води в річці	осушка кар'єрів	скид стоків в океан	складування твердих відходів	ЗАГАЛОМ				
Грунт	2	3.5	8.5	2	2.5		3			1.5		7.5	24.5		
Рельєф	3	4	8	10			1	2				7.5	19.5		
Поверхневі води				6.5	4.5				3.5	3		4.5	18		
Підземні води			7.5	7						4	4	1.5	24		
Океанічні води							1.5	3			1	1	13.5		
Повітря	3	4	3	4	1.5	2	4.5						15		
Ерозія	1.5	2	5.5	7	1	2				1	1.5		12		
Відкладення седиментація				3	3.5	4			3	4	2	4.5	16		
Флора	2	3	7	8.5	1.5	3	2.5	3	1.5	1.5	1.5	2	18.5		
Фауна	2.5	2.5	5	6	1	1	1.5	2	1.5	1	1	1	25		
Агрокультура				4	6		1.5	2.5		3	4	4.5	31		
Рівень шуму	3.5	4	2.5	2	1.5	2	3	2.5		1.5	1.5	1.5	17		
естетика			7.5	9.5			4	5.5		1	1.5	1.5	19		
екологічна безпека	4.5	4.5	3	3			5	6					20.5		
ЗАГАЛОМ	18.5	27	57	64	22.5	13	21.5	40.5	4.5	5.5	12	14.5	22.5		
					27.5	17.5						3	45.5		
													52.5		

### Принципи застосування матриці Леопольда.

1. Вивчити всі дії (розташовані у верхній частині матриці) що входить в передбачуваний проект.

2. Під кожною з передбачуваних дій, здатних суттєво впливати на довкілля, на перетині з відповідним рядком матриці зробити розріз.

3. У верхньому лівому кутку кожної клітки з розрізом помістити число від 1 до 10, яке визначає АМПЛІТУДУ можливої дії: 10 відповідає найбільшій амплітуді, 1–найменшій (ненульовій). Перед кожним числом поставити +, якщо дія вигідна для людини.

В нижньому правому куті клітки помістити число від 1 до 10, яке визначає ВАЖЛИВІСТЬ можливої дії.

4. В прикладеному до матриці тексті повинно міститися ЕКСПЕРТНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ найважливіших дій, а також тих рядків та стовпчиків, які містять клітинки з найбільшими числами.

**Обмеження застосування матричного підходу.** Основна проблема, що виникає у зв'язку з використанням матриці Леопольда, полягає в тому, що схема «дія – одиничний ефект» нереалістична. Виникають труднощі визначення послідовності дій і зумовлені ними причин. Крім того, наявність 8800 клітинок роблять матрицю Леопольда громіздою для використання.

Найважливішими чинниками, які повинні враховуватись при розробці та реалізації проектів виходячи з матричного підходу є експертна оцінка впливу проектованої дії на умови довкілля та та антропогенне середовище за схемою показаною на рис.1.



**Рис.1.** Найважливіші чинники, які повинні враховуватись при розробці та реалізації проектів виходячи з матричного підходу.

**Оцінка ризику впливу планованої діяльності на природне середовище** (за ДБН А.2.2-1-2003 «Розробка матеріалів ОВНС»)

Визначення показників техногенного ризику (ризик впливу об'єкта чи планової діяльності на природне середовище) проводиться у два етапи. На першому етапі здійснюється визначення рівня ризику впливу об'єкта господарської діяльності на

компоненти навколишнього середовища за формулою (1), що встановлює прогностичний рівень техногенного ризику при проектуванні. На другому етапі визначається показник ризику впливу кожної специфічної забруднюючої речовини на відповідні компоненти навколишнього середовища за формулою:

$$R_{kj} = A \cdot e^{B \cdot e^{D_{kj}}},$$

де  $R_{kj}$  ризик  $k$ -го етапу по  $j$ -ому компоненту навколишнього природного середовища, безрозмірний;  $A, B$  – константи ( $A=4,99 \cdot 10^{-6}$ ,  $B=-7,557$ );  $D_{kj}$  – величина, що визначається відповідно  $k$ -го етапу розрахунку ризику по  $j$ -ому компоненту, яка розраховується за формулою:

$$D_{kj} = -e^{I_{kj}-1}$$

де  $I_{kj}$  – індекс забруднення по  $j$ -ому компоненту навколишнього середовища (атмосфери, гідросфери, ґрунту) для  $k$ -го етапу розрахунку ризику, безрозмірний, визначається по таблиці Визначення індексу забруднення компонентів навколишнього середовища (табл.5)

**Таблиця 5.**

Визначення індексу забруднення компонентів довкілля

Компонент навколишнього середовища	Перший етап ( $k=1$ )		Другий етап ( $k=2$ )	
	Вихідні дані	Розрахункова залежність $I_{kj}$	Вихідні дані	Розрахункова залежність $I_{kj}$
Атмосфера ( $j=1$ )	$KП$ – кратність перевищення нормативів, безрозмірний	$0,25 \cdot KП$	$ПЗ_i$ – показник забруднення $i$ -ою речовиною у атмосфері, %;	$0,0025 \cdot ПЗ_i$
Гідросфера ( $j=2$ )	$ІЗВ$ – індекс забруднення вод по показникам, безрозмірний	$0,2 \cdot ІЗВ$	$ІЗВ_i$ – індекс забруднення вод по $i$ -ому показнику <sup>2</sup> забруднення гідросфери, безрозмірний	$0,2 \cdot ІЗВ_i$
Ґрунт ( $j=3$ )	$Zc$ – сумарний показник забруднення ґрунту, безрозмірний	$0,016 \cdot Zc$	$Kc_i$ – коефіцієнт концентрації $i$ -ої хімічної речовини що забруднює ґрунт, безрозмірний	$0,016 \cdot Kc_i$

На першому етапі на основі отриманого значення приймається рішення про прийнятність планованої діяльності по даному компоненту довкілля, її доробці (наприклад, удосконаленню системи очищення стічних вод і т.д.), або відхиленню даного проекту.

На другому етапі на основі отриманих значень приймається рішення про прийнятність планованої діяльності по кожній специфічній речовині (показнику) відповідного компонента навколишнього середовища.

#### **Комплексний підхід до забезпечення екологічної безпеки.**

Сьогодні найчастіше використовується комплексний підхід, який акумулює можливості всіх перелічених методів на основі методу поєднаного аналізу карт з широким використанням потенціалу геонформаційних систем.

Як показує практика, офіційна методика проведення ОВНС проектів в Україні ще не забезпечує підтримки прийняття рішень, необхідних для реалізації ефективної національної природоохоронної політики. Головною причиною цього є відсутність інтегрального кількісного критерію, який характеризує зміну якості навколишнього природного середовища та відсутність відповідної методичної бази, на основі якої реалізовувались би природоохоронні рішення.

Прикладом комплексного підходу до забезпечення екологічної безпеки є алгоритм висунення ідеї техногенного впливу на гідрологічний об'єкт, з метою вирішення певних проблем (підтоплення, водопостачання, берегоукріплення та ін.), громадського та експертного обговорення чорнового варіанту проекту, розробленого лобістом, виявлення у ньому вад, помилок, невідповідностей, затвердження з урахуванням пропозицій та коригування при реалізації (рис.2)



Рис.2. Алгоритм комплексного підходу на прикладі проекту техногенного впливу на гідрологічний об'єкт.

### РОЗДІЛ III. БІОСФЕРА ЗЕМЛІ. МОДЕЛІ ДЕГРАДАЦІЇ ТА ВИСНАЖЕННЯ РЕСУРСІВ ІЗОЛЬОВАНИХ ЕКОСИСТЕМ. ПРОДОВОЛЬЧА БЕЗПЕКА

Термін “**біосфера**” уперше ввів у науку в 1875 р. австрійським вчений Едуард Зюсс (1831 – 1914). Поче цілісне вчення про біосферу створив наш видатний співвітчизник В.І. Вернадський.

В.І.Вернадський виділив наступні ознаки біосфери:

1. Біосфера – загальнопланетна оболонка.
2. Склад і будова біосфери зумовлені сучасною і минулою життєдіяльністю всієї сукупності живих організмів.
3. Біосфера є наслідком взаємодії живих і неживих компонентів, акумуляції та перерозподілу в ній величезної кількості енергії.

4. Біосфера є термодинамічно відкритою, самоорганізованою, саморегульованою динамічно зрівноваженою, стійкою системою.
5. Межі біосфери: верхня межа – променева – зумовлена наявністю жорсткого короткохвильового ультрафіолетового випромінювання. Від нього життя захищається озоновим шаром. Нижня межа – термічна. В певних температурних режимах життя існувати не може.

Основною функціональною одиницею біосфери є екосистема. Термін "екосистема" вперше був введений англійським біологом А.Тенслі в 1935 р. Тенслі виходив з визначення поняття СИСТЕМА. Система – це впорядковано взаємодіючі і взаємопов'язані компоненти, що утворюють єдине ціле.

**Екосистема** – це функціональна система, яка включає в себе угруповання живих організмів разом із компонентами довкілля (грунт, вода, повітря, геофізичні поля), в якому вони мешкають.

За характером функціонування речовини розрізняють екосистеми:

- **закриті** – в яких речовина циркулює від продуцентів до редуцентів по колу в межах цієї екосистеми.

- **відкриті** – речовина по колу не обертається, а вилучається і переноситься в іншу екосистему.

Відносно механізму саморегуляції розрізняють екосистеми *здатні або не здатні до саморегуляції*.

**Таким чином екосистеми** – це відкриті термодинамічні цілісні системи, що існують за рахунок надходження енергії з навколишнього середовища та у яких підтримується рівновага (**гомеостаз чи екологічна рівновага**) за рахунок абіотичних обмежуючих чинників та біотичного регулювання.

Під **екологічною рівновагою** (гомеостазом екосистеми) розуміють тривале в часі функціонування екосистеми від первинної сукцесії до клімаксу за рахунок абіотичних обмежуючих чинників та біотичного регулювання. В умовах внутрішнього (наприклад, утворення нових видів) чи зовнішнього впливу (наприклад засолення, підтоплення, вселення видів «чужих» видів), на екосистему завдяки природним чи антропогенним чинникам біотичне середовище може вийти зі стану екологічної рівноваги та деградувати. Такі зміни називають **сукцесіями**, або послідовними змінами біоценозів.

Екологічна рівновага (гомеостаз екосистеми) передбачає стабільність екосистеми та її здатність повертатися в початковий стан після того, як вона була виведена із стану рівноваги. Стабільність визначається стійкістю екосистем до зовнішніх дій. Виділяють два типи стійкості: резистентну і пружну.

1. **Резистентна стійкість** – це здатність екосистеми чинити опір порушенням, підтримуючи незмінними свою структуру і функції.

2. **Пружна стійкість** – здатність системи швидко відновлюватися після порушення структури і функцій.

Екосистемам важко суміщати обидва типи стійкості: вони зв'язані зворотним зв'язком, а іноді виключають один одного. Наприклад, каліфорнійський ліс з секвої стійкий до пожеж (висока резистентна стійкість), але якщо він згорить, то відновлюється дуже повільно чи зовсім не відновлюється (низька пружна стійкість). А чагарники вересу дуже легко вигоряють (низька резистентна стійкість), але швидко відновлюються (висока пружна стійкість).

**Екологічні закони Д. Чіраса які визначають умови підтримки екологічної рівноваги.**

На думку американського еколога Д. Чіраса, природа розвивається й функціонує завдяки здатності підтримувати екологічну рівновагу у відповідності до 4 основних законів:

1. **Рециклічності**, або повторного багаторазового використання найважливіших речовин;

2. **Постійного відновлення ресурсів** або перманентного споживання та продукування;

3. **Консервативного споживання**, коли живі істоти споживають лише те, й у такій кількості, яка їй необхідна;

4. **Популяційного контролю** – природа не допускає вибухоподібного росту популяцій, регулюючи кількість особин того чи іншого виду створенням відповідних умов для його існування та розмноження (рис.3).



**Рис. 3.** Механізм підтримки екологічної рівноваги природної екосистеми у відповідності до закону популяційного контролю Д.Чіраса.

**Ю. Гольдшмітом** на підставі власних досліджень, що визначають умови підтримки екологічної рівноваги та у розвиток ідей **В.І.Вернадського** сформульовано чотири закони екодинаміки.

**Перший закон Гольдшміта** є прямим наслідком класичних екологічних законів та визначає, що “інформаційна і соматична структура біосфери та природних екосистем постійні”.

**Другий закон Гольдшміта** – “закон прагнення до клімаксу”, визначає, що природна екосистема в своєму розвитку не виходять за рамки речовинних, енергетичних та інформаційних можливостей довкілля і прагне досягти стану екологічної рівноваги (зрілості).

**Третій закон Гольдшміта** – “принцип екологічного порядку”, пояснює взаємообумовленість загального і окремого в екосистемі, властивості стабільності і здатності до самозбереження і відторгнення чужорідних (у тому числі і антропогенних) впливів.

В умовах прямого зовнішнього впливу на довкілля, визначальним є **четвертий закон Гольдшміта** “самоконтролю і саморегуляції”.

Сумісна дія всіх перерахованих законів екодинаміки Гольдшміта формує правило “автоматичної підтримки глобального незаселеного середовища” (рис.4).



**Рис. 4.** Механізм підтримки екологічної рівноваги у відповідності до правила автоматичної підтримки глобального незаселеного середовища – інтегрального наслідку чотирьох законів екодинаміки Ю.Гольдшміта.

У відповідності з ним біота екосистем підтримує придатні умови незаселеного середовища, протидіючи в межах стійкості зовнішнім руйнуючим чинникам, формуючи буферну зону. Найбільш потужний руйнівний вплив на стан довкілля чинить людина. Різноманітність форм людської діяльності, які змінюють біотичні та абіотичні елементи довкілля називають **антропогенними чинниками**.

До антропогенних чинників належать усі види створених технікою і безпосередньо людиною впливів, які пригнічують довкілля:

- **забруднення** (внесення в середовище нехарактерних для нього нових фізичних, хімічних чи біологічних агентів або перевищення наявного природного рівня цих агентів);
- **технічні перетворення й руйнування** природних систем ландшафтів ( у процесі добування природних ресурсів, будівництва тощо);
- **вичерпання природних ресурсів** (корисні копалини, вода, повітря);
- **глобальні кліматичні впливи** (зміна клімату зв'язана з впливом людини)



- **естетичні впливи** (зміна природних форм, несприятливих для візуального та іншого сприймання).

**Антропогенні чинники** – це впливи людини на екосистеми, що зумовлюють у її компонентів (абіотичних, біотичних) суттєві відгуки (реакції). Вони можуть бути фізичними, хімічними, кліматичними, біотичними, а за характером зв'язків – вітальними і сигнальними, за часом дії – постійними і періодичними, ледве помітними і катастрофічними.

До *випадкових* належать впливи, які є наслідком діяльності людини, але не були наперед передбачені або заплановані: випас худоби, невідповідне завезення насіння бур'янів, розорювання земель.

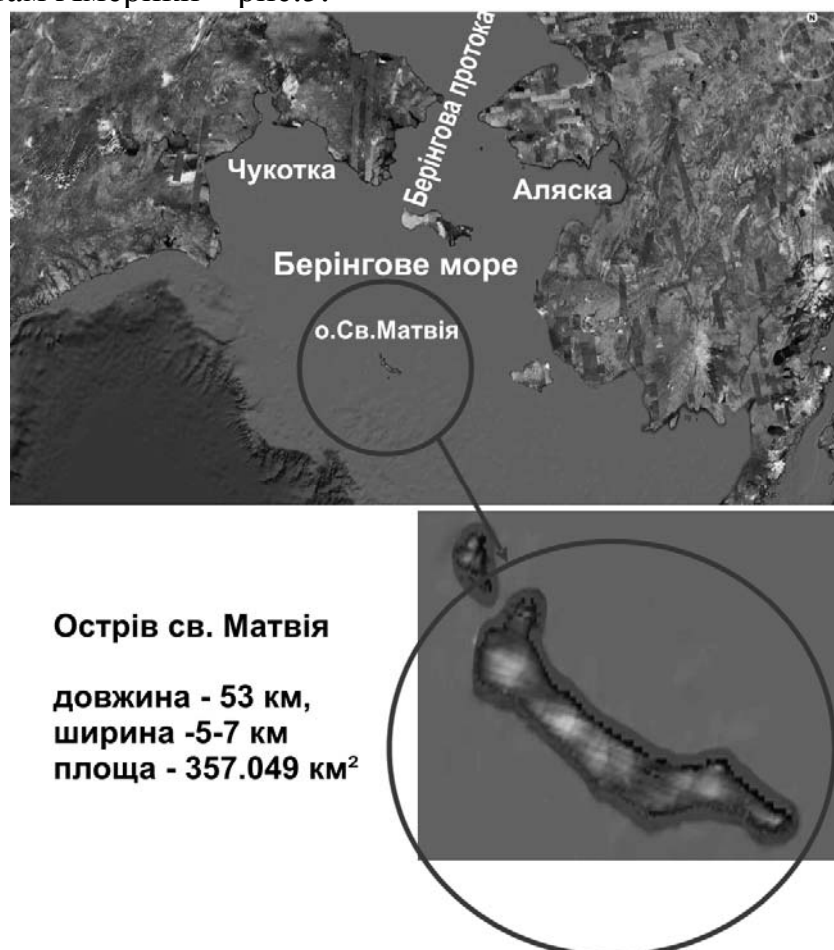
Негативні антропогенні фактори: урбогенні (теплові, хімічні, радіаційні, електромагнітні, світлові, звукові, вібраційні тощо) та техногенні процеси, які часто діють сумісно.

Позитивні антропогенні фактори: інтродукція, фітомеліорація, біологічні методи боротьби із шкідниками.

**Моделі деградації та виснаження ресурсів ізольованих екосистем.**

### **Модель екологічно зумовленого голодомору – деградаційного впливу на довкілля експоненційно-зростаючої популяції – експеримент на острові Св.Матвія.**

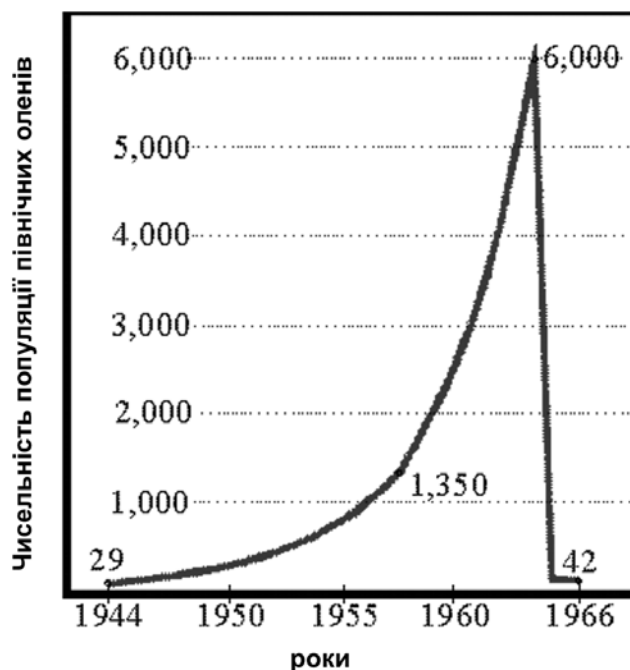
На півночі Тихого океану між Берінговою протокою та Берінговим морем розташований невеликий видовжений острів Святого Матвія (St. Matthew island) довжиною 53 км, шириною 5-7 км та площею 357 км<sup>2</sup>, що територіально належить Сполученим Штатам Америки – рис.5.



**Рис.5.** Просторове розташування та параметри острова Св.Матвія

Екологічні умови острова з одного боку не сприяли постійному заселенню людьми, а з іншого тваринний світ був представлений лише полярними полівками, рибоїдними птахами та ссавцями (моржі, тюлені). Лише в холодні зими по пакову льоду сюди іноді мігрували білі ведмеді.

В той же час багатий рослинний покрив острова наштовхнув інтенданський відділ службу берегової охорони США (USCG) створити тут аварійний продовольчий запас м'яса для потреб військовослужбовців у екстремальних умовах. Для цього у 1944 році сюди були завезено 29 північних оленів. Мох та лишайники, основна їжа оленів, в умовах відсутності травоядних досягали 10 см. Екстремальних потреб у м'ясі оленів для військовослужбовців в даному регіоні у 40-50-ті роки не виникало. Відсутність хижаків та мисливського промислу сприяли тому, що кількість оленів з 29 у 1944 р. протягом подальших 19 років збільшувалася із швидкістю 32% на рік, досягнувши у 1963 р. чисельності 6000 голів. Протягом наступних трьох років майже всі тварини вимерли, залишивши у 1966 р. жалюгідне стадо з 41 оленями і одного оленя (рис.6)



**Рис.6.** Динаміка чисельності популяції північних оленів на о.Св.Матвія

В сніжну зиму 1963-1964 рр. погода була не настільки несприятливою, щоб не дати можливість дістатися до корму. Причина екологічно-зумовленого голодомору була не у несприятливих кліматичних умовах, а в іншому: перевипас, надмірне виснаження пасовища, надмірна кількість споживачів моху та його споживання у значних кількостях, при тривалому часі відтворення (регенерації) моху, за умови відсутності контролюючої підсистеми (хижаків).

Максимальна кількість тварин, які використовувати ресурси екосистеми без порушення екологічної рівноваги для острова св. Матвія складає 5 оленів на 1 кв. км. Ця величина була досягнута вже в 1957 р. при чисельності стада 1350 голів. У час піку популяції її густина становила 18 особин/кв. км.

Після цього поголів'я якийсь час росло, а відтворюваність корму РІЗКО зменшувалася. Деградація пасовища виявилася незворотною; відбулося стрибкоподібне зменшення популяції оленів. Після краху на 1 кв. км. доводилося

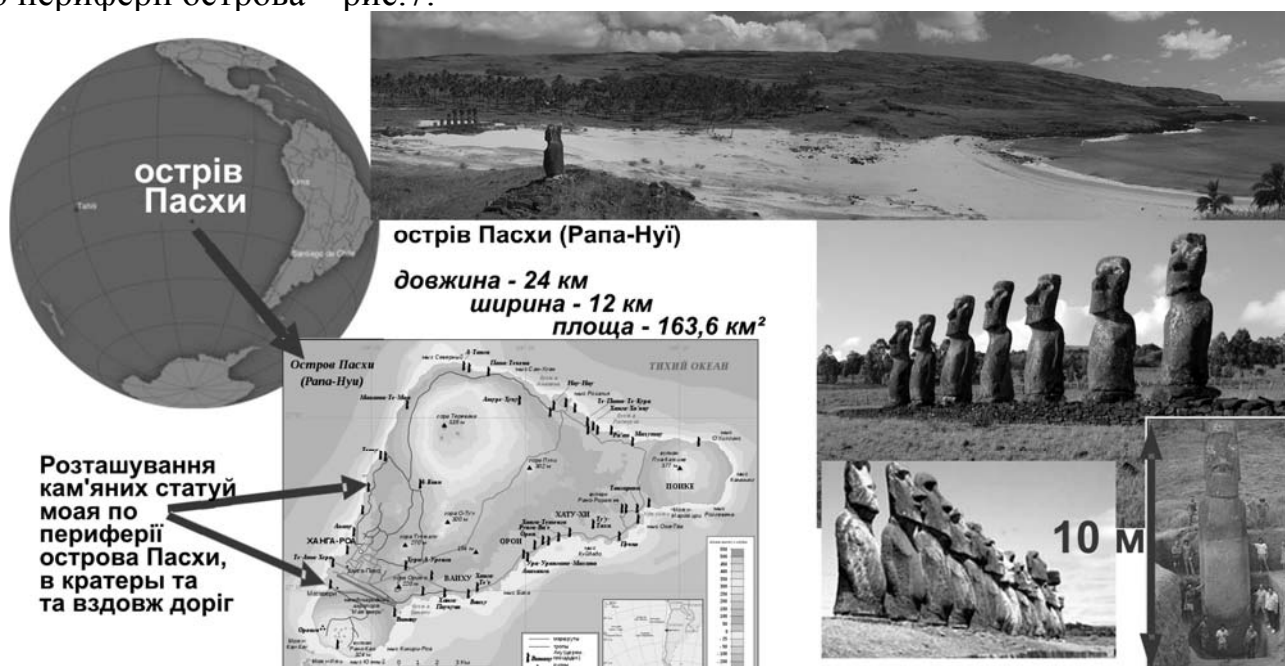
всього 0.126 тварина, але для виснаженого пасовища і це виявилось дуже багато.

Відновлення пасовища навіть при повній відсутності тварин займає десятиліття. За наявності залишків стада регенерація моху стає неможливою, а екосистема повністю деградує. З екологічної точки зору, це був “природний експеримент”, що наочно показав спочатку швидке зростання поголів'я, що згодом призвело до загибелі стада в умовах перенаселеності в екстремально важких природних умовах непридатними для виживання, який можна назвати **моделлю екологічно зумовленого голодомору – деградаційного впливу на довкілля експоненційно-зростаючої популяції.**

Стратегія виживання північних оленів ґрунтується на інстинктах пошуку їжі, розмноження та самозахисту від природних хижаків. В умовах відсутності останніх інстинкт самозбереження з фізіологічних причин не поширюється на умови регенерації першого трофічного рівня, Це й призвело до деградації екосистеми та екологічно-зумовленого голодомору.

### **Модель екоциду: розквіту та деградації цивілізації з експоненційним зростанням чисельності людської популяції та її раптової депопуляції на острові Пасхи (Рапа-Нуї) внаслідок виснаження ресурсів території**

Острів Пасхи (Рапа-Нуї) розташований в Тихому океані на відстані більше 3700 км. від найближчого континенту (Південна Америка) і в 2600 км від найближчого жилого острова (Піткейрн) має довжину 24 км, ширину 12 км та площею 163 км<sup>2</sup>, . Відкритий голандцем Якобом Роггевеному Великодню неділю 1722 р. острів найбільше запам'ятався європейським першовідкривачам велитенськими статуями по периферії острова – рис.7.



**Рис.7.** Острів Пасхи та кам'яні статуї на ньому: просторове розташування та їх параметри

Після відкриття острова європейцями ботаніки знайшли на острові тільки 47 видів вищих рослин, характерних для цієї місцевості; в основному це трава, осока і папороті, два види карликових дерев і два види чагарників. При такій рослинності мешканці острова не мали палива для зігрівання в холодну, вологу і легковажну зиму. З домашніх тварин були тільки кури; не було кажанів, птахів, змій або ящірок.

Всього на острові на початку XIX століття проживало близько 2000 чоловік.

Найбільше вразило європейців сотні гігантських кам'яних статуй, розташовані на масивних постаментах уздовж узбережжя острова з жалюгідною рослинністю, на значній відстані від карерів. Більшість статуй розташовувалися на масивних підставках. Ще не менше 700 скульптур, різною мірою готовності, були залишено в кар'єрах або на стародавніх дорогах, що зв'язують кар'єри з узбережжям. Складалося враження, що скульптори раптово залишили свої інструменти і припинили роботу. Більшість встановлених скульптур була висічена в одному і тому ж кар'єрі і потім є якимсь чином доставлений на відстань більше 10 км; висота статуй була більше 10 м., а вага – до 82 т. Залишені в кар'єрах і на дорозі статуї були удвічі вище і важили до 270 т. Гігантськими були і кам'яні платформи: до 150 м. в довжину і 3 м. висотою, вони склалися з шматків вагою до 10 т.

Загадкою для європейців стало як не маючи товстих дерев'яних катків і міцних канатів, можна було пересувати і встановлювати подібні глиби. У остров'ян не було ні коліс, ні тяглової худоби, жодного іншого джерела енергії, окрім власних м'язів. Дивно і те, що в 1770 р. статуї ще стояли, але в 1864 р. всі вони виявилися перекинутими самими остров'янами.

Острів Пасхи був заселений приблизно в 400 р. н.е. ймовірно двома популяціями людей – вихідцями з Полінезії та Південної Америки. Як показали комплексні дослідження тоді острів зовсім не був таким пустинним, як на момент відкриття європейцями. Субтропічний ліс з деревними маргаритками, деревами хаухау, з яких можна робити канати, дерево тороміро, яке придатне як паливо давав ресурс для зростання популяції. Високі стовбури були ідеальним матеріалом для катків і спорудження плавальних засобів ( каное), джерелом їжі (горіхи, сік, цукор, сироп, мед, вино).

Крім того перші поселенці вирощували банани, солодку картоплю, цукрову тростину, шовковицю. Окрім курей, на острові були також щурі, прибулі з першими переселенцями. Відносно холодні прибережні води забезпечували рибний лов тільки в декількох місцях. Основною морською здобиччю були дельфіни і тюлені. Для полювання на них виходили у відкрите море і застосовували гарпуни. На узбережжі гніздилися птахи. За даними радіоізотопного аналізу період виготовлення статуй відноситься до 1200-1500 рр. Кількість жителів на той час складала від 7 000 до 20 000 чоловік. Археологи оцінили, що одна статуя могла бути виготовлений за допомогою кам'яних зубил протягом року. Для підйому і переміщення статуї достатні декілька сотень чоловік, які використовували канати і катки з дерев, що є у той час в достатній кількості.

Приблизно в 800-х роках почалося руйнування лісів. Все частіше стали зустрічатися шари деревного вугілля від лісових пожеж, все менше ставало деревного пилку і все більше з'являвся пилок від трав, що приходили на зміну лісу. Не пізніше 1400 р. пальми зникли остаточно, причому не тільки в результаті вирубки, але і через усюдисущих щурів, які не давали їм можливості відновитися: десятків залишків горіхів, що збереглися в печерах, мала сліди згризистості щурами. Такі горіхи не могли прорости. Дерева хаухау не зникли повністю, але їх вже не вистачало для виготовлення канатів.

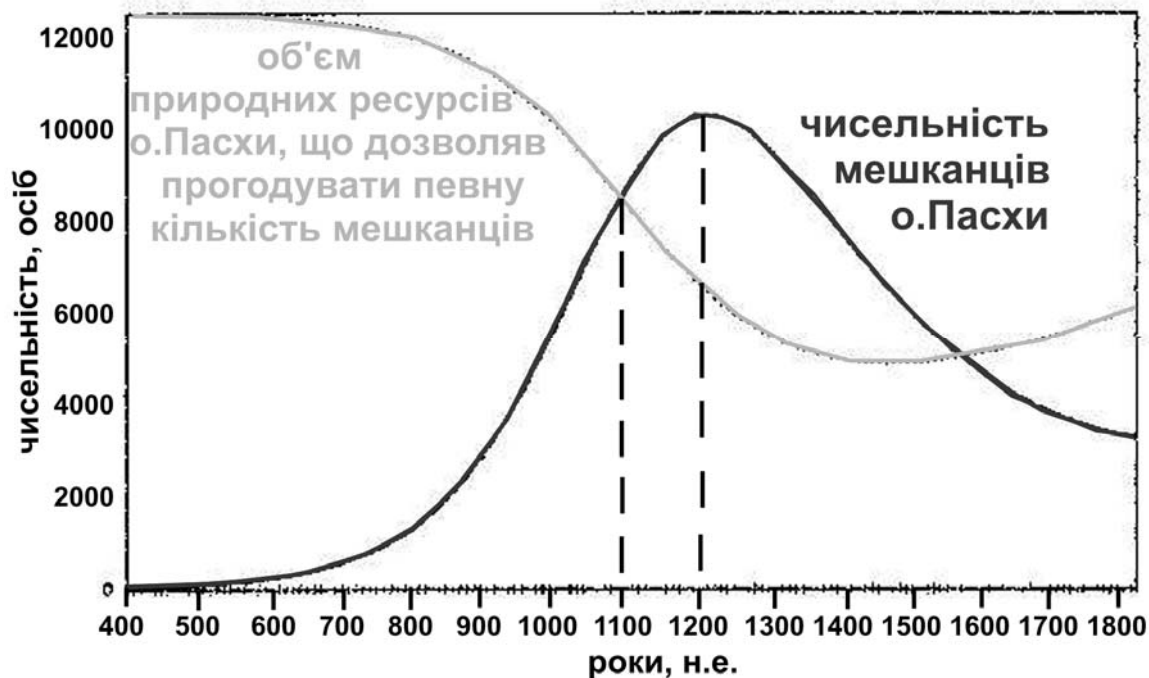
В 15-му столітті зникли не тільки пальми, але і весь ліс цілком. Він був знищений людьми, які очищали ділянки для садів, вирубували дерева для спорудження каное, для виготовлення катків під статуї, для опалювання. Щурі поїдали насіння. Птахи вимирали через виснаження ресурсів мілководних ділянок та

зменшення урожаю фруктів. До 18 століття на острові зникли всі види місцевих птахів і звірів. Була виловлена і вся прибережна риба. В їжу пішли дрібні равлики. З раціону людей до 15 в. зникли дельфіни: ні на чому було виходити в море, та і гарпуни не з чого було робити. Люди дійшли до канібалізму.

Райський куточок, яким був острів Паски до заселення людьми став ЗОНОЮ ЕКОЛОГІЧНОГО ЛИХА. Родючі ґрунти, достаток їжі, будівельні матеріали, достатній життєвий простір, всі можливості для безбідного існування виявилися знищеними. Після прибуття на острів люди як і їх полінезійські предки, встановлювали на платформи кам'яні ідоли. З часом статуї ставали все більшими; їх голови почали прикрашати червоні корони вагою до 10-ти тонн. В умовах достатності ресурсів розкручувалася спіраль змагання: клани змагалися у намаганні перевершити один одного, демонструючи здоров'я і потужність подібно древнім єгиптянам, які будували свої гігантські піраміди. На острові, існувала складна політична система розподілу ресурсів.

Постійно зростаюче населення острова, переводило ліси швидше, ніж вони могли відновлюватися; все більше місця займали города; ґрунт, позбавлений лісу еродував, джерела і струмки висихали; дерев, які витрачалися на транспортування і підйом статуй, а також на будівництво каное і жител, виявилось недостатньо навіть на приготування їжі.

У міру знищення птахів і тварин наступав голод. Зменшувалася родючість ріллі через вітрову і дощову ерозію. Почалися засухи. Інтенсивне розведення курей і канібалізм лише частково розв'язали проблеми з продовольством та стабілізували чисельність популяції островитян у відповідності до об'єму відтворюваних природних ресурсів (рис.8).



**Рис.8.** Динаміка чисельності популяції корінних мешканців о.Пасхи

Підготовлені до переміщення статуї із запалими щоками і видимими ребрами — є свідченнями голоду, якого зазнавали аборигени у період екологічної катастрофи. При браку їжі аборигени більше не могли утримувати вождів, бюрократію і шаманів, які здійснювали управління суспільством. Останні звинувачували в усіх бідах предстаників протилежних кланів.

Остров'яни, що вижили, розказали першим європейцям, які відкрили острів, як на зміну централізованій системі прийшов хаос, і войовничий клас перемиг спадкових вождів. На камінні з'явилися зображення копій і кинджалів, виготовлених воюючими сторонами в 1600-ті і 1700-ті рр; вони і зараз розкидані по всьому острову Пасхи. До 1700 р. населення складало від четверті до однієї десятої своєї колишньої кількості. Люди переселилися в печери, щоб ховатися від своїх ворогів. Близько 1770 р. Ворогуючі клани почали перекидати статуї один у одного і зносити їм голови. Остання статуя була перекинута вже у 1864 р.

У міру того, як перед дослідниками виявлялася картина занепаду цивілізації острова Пасхи, вони питали себе: – Чому вони не озирнулися, не усвідомили того, що відбувається, не зупинилися, поки не було надто пізно? Про що вони думали, зрубавши останню пальму? Найімовірніше, катастрофа відбулася не раптово, а розтягнулася на декілька десятиліть.

Зміни, що відбуваються в природі, для одного покоління не були помітні. Тільки старі, згадуючи роки свого дитинства, могли усвідомити те, що відбувається і зрозуміти загрозу, яку несе знищення лісів, проте правлячий клас і каменетеси, боячись втратити свої привілеї і роботу, не дослухалися до попереджень. З часом дерева поступово ставали меншими, а коли зрізали останню плодоносну пальму, ніхто і не помітив початку своєї загибелі.

Значення історії острова Пасхи для всіх нас сьогодні страхотливо очевидне: це історія Землі в мініатюрі. Сучасний розвиток людської цивілізації повністю повторює еволюцію спільноти людей та їх відношення до довкілля на о.Пасхи. Сучасна людська цивілізація, як і жителі острова Пасхи виснажує світові запаси риби, вирубує тропічні ліси, спалює гігантські кількості викопного палива, еродує ґрунтовий покрив, що призводить до зменшення врожайності. **ЗНИЩИВШИ ДОВКІЛЛЯ, ЛЮДСТВО НЕ МОЖЕ ВІДПРАВИТИСЬ НА ІНШУ ПЛАНЕТУ**, як не могли відправитися в Океан мешканці о.Пасхи. Вже сьогодні голодують цілі країни. Локальні конфлікти – це війни за залишки ресурсів. Тим часом людей стає більшим, а ресурсів для існування менше. Якщо декілька тисяч остров'ян з кам'яними знаряддями праці і війнами змогли зруйнувати своє суспільство та виснажити відтворювальну функцію довкілля, то чого можна чекати від мільярдів людей, що мають у своєму арсеналі ядерну та термоядерну зброю, сучасну техніку і технологію? Правда, є деяка істотна різниця. У остров'ян Пасхи не було **ЕКОЛОГІЧНИХ ЗНАНЬ ТА НЕ БУЛО УЯВЛЕНЬ ПРО ЕКОЛОГІЧНУ БЕЗПЕКУ**: вони не знали історії зникнення інших суспільств. На відміну від них, ми маємо своєму розпорядженні знання про минуле, які ми можемо зберегти для майбутнього.

У людства є деякий шанс на продовження свого існування, якщо вдасться зберегти відтворювальну здатність незаселеного довкілля. При цьому ще можливо стабілізувати стан природних умов і уникнути необоротних наслідків її перевантаження і подальших глобальних конфліктів. Для забезпечення нормальних умов для людей, що нині живуть, потрібні дві додаткові планети Земля. Через 3-4 десятиріччя знадобиться 5 таких планет. Хто нам їх надасть?

### **Продовольча безпека як пріоритетний напрямок екологічної безпеки**

**Продовольча безпека** — ситуація, при якій усі люди у будь-який момент часу мають фізичний і економічний доступ до основних продуктів харчування, необхідних для ведення активного і здорового життя. В «Римській декларації по всесвітній продовольчій безпеці» декларується обов'язок усіх держав забезпечувати право кожної людини на доступ до безпечних для здоров'я і повноцінних продуктів харчування

відповідно до права на адекватне харчування і права на свободу від голоду.

Продовольча безпека є пріоритетним напрямком екологічної безпеки.

Елементами продовольчої безпеки у відповідності до Римської декларації є

1. фізична доступність екологічно- безпечної їжі у достатній кількості;
2. економічна доступність основних продуктів харчування, у тому числі їх справедливий розподіл
3. автономність і економічна самостійність національної продовольчої системи (продовольча незалежність);
4. надійність, тобто здатність національної продовольчої системи мінімізувати вплив сезонних, погодних і інших коливань на постачання продовольством населення усіх регіонів країни;
5. стійкість національної продовольчої системи, яка повинна розвиватися в режимі розширеного відтворення.
6. системне та ефективно вирішення завдань виробництва, зовнішньої торгівлі, зберігання і переробки сільськогосподарської продукції,
7. Створення стратегічних резервів для випадку форсмажорних обставин.

Смисл глобальної продовольчої проблеми полягає у випереджаючому зростанні чисельності населення в порівнянні із зростанням виробництва продуктів харчування. Внаслідок чого в світі відбувається збільшення чисельності недоїдаючих і голодуючих (щорічно з голоду, недоїдання і пов'язаних з ними хвороб вмирає 40 млн чол.), росте антропогенне навантаження на агроєкосистеми, погіршує якість харчів, зростає роль генної інженерії у вирішенні продовольчої проблеми.

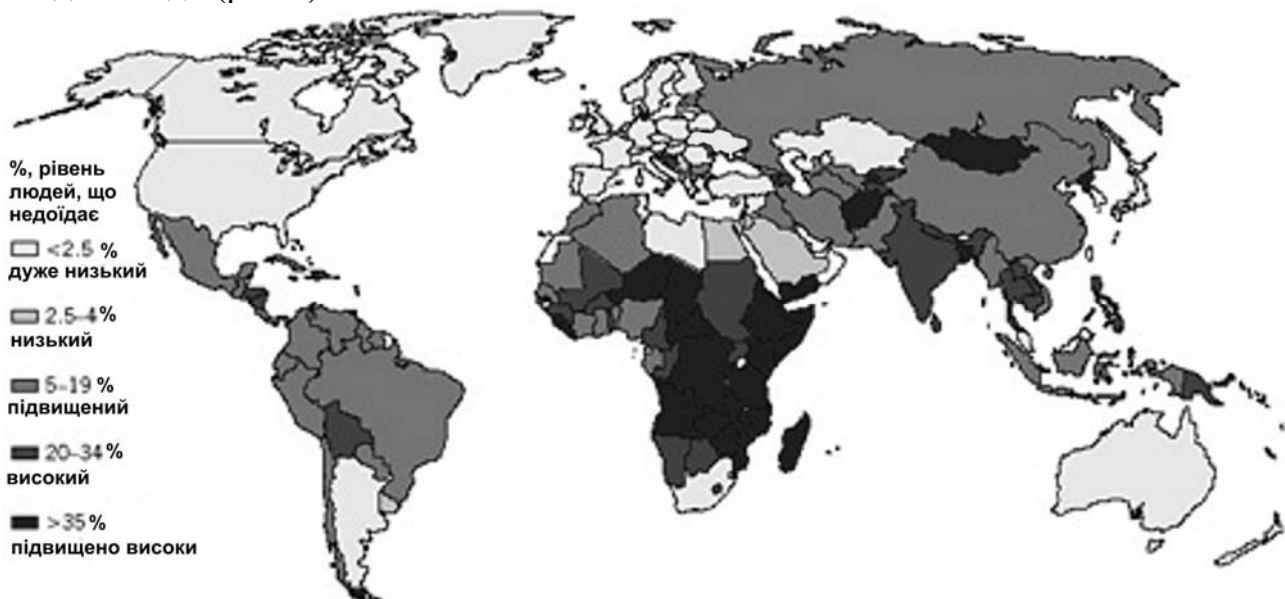
За оцінками ВОЗ **норма харчування** для людини складає 2500 ккал/день

**Недоїдання** настає, коли норма харчування опускається **нижче 1900 ккал/день**

**Виразний голод** настає, коли норма харчування опускається **нижче 1000 ккал/день**.

На Землі існує пояс голоду, що протягнувся уздовж екватора із центром у тропічній Африці. До країн з високим показником голодуючих належать Чад – 50%, Мозамбік – 47%, Сомалі – 45%, Уганда – 40%, Ефіопія – 39%.

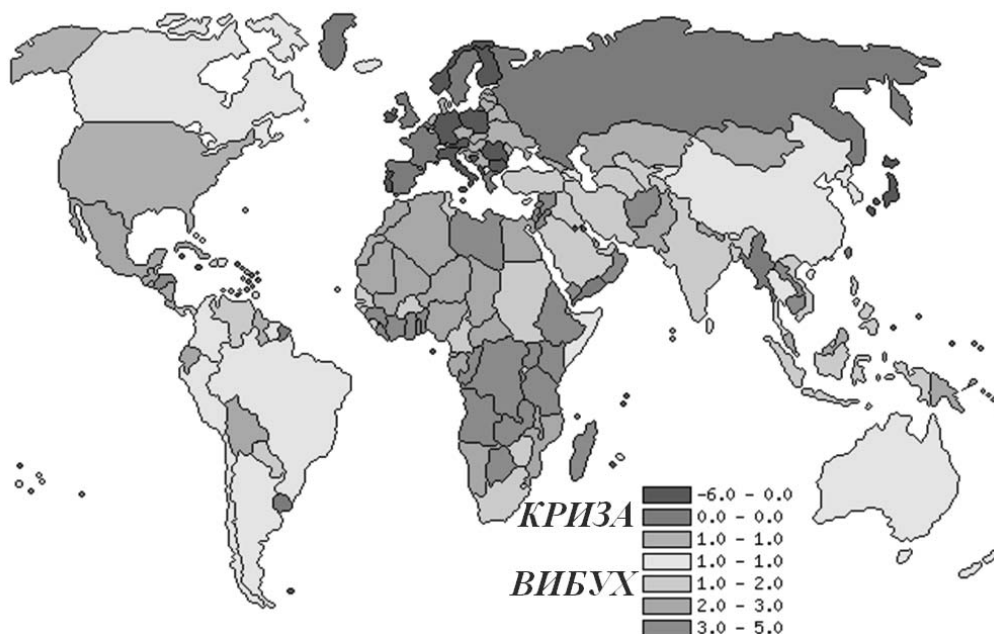
В теж час на Землі можна виділити пояс переїдання – США і Західна Європа. Наприклад громадяни США в рік споживають м'ясних продуктів в 80 разів більше, ніж громадяни Індії (рис.9).



**Рис.9.** Пояси голоду та переїдання, за відсотком людей, що недоїдають.

## Демографічний “вибух” та продовольча безпека

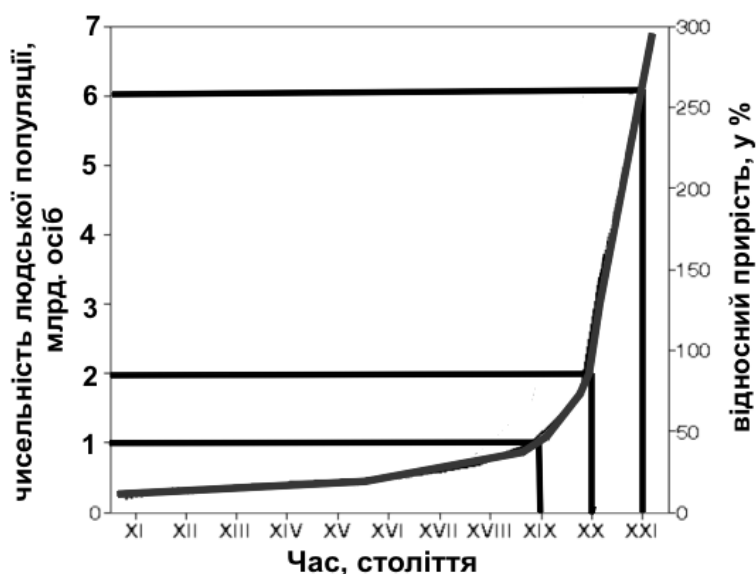
Демографічна проблема пов'язана з падінням приросту населення – **ДЕМОГРАФІЧНОЮ КРИЗОЮ** в розвинутих країнах та різким збільшенням цього приросту – **ДЕМОГРАФІЧНИМ ВИБУХОМ** в країнах, що розвиваються. В цілому спостерігається неконтрольоване зростання населення людської популяції на 1,6 % в рік – рис.10.



**Рис.10.** Країни поширення демографічної кризи та демографічного вибуху.

Позитивним моментом з екологічних міркувань демографічної кризи є **ЗМЕНШЕННЯ ЧИСЕЛЬНОСТІ НАСЕЛЕННЯ**, негативним – **СТАРІННЯ ПОПУЛЯЦІЇ**. Позитивним моментом з екологічних міркувань демографічного вибуху є омолодження та збільшення чисельності працездатного населення, негативним – **ЗРОСТАННЯ ЧИСЕЛЬНОСТІ НАСЕЛЕННЯ**, **БІДНОСТІ**, **ПОРОДЖУЄ БРАК ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ І ІН.**

Динаміка експоненційного зростання чисельності людської популяції від середньовіччя до кінця XX століття вказує що демографічний вибух є найбільшою загрозою для досягнення цілей стійкого розвитку (рис.11).



**Рис.11.** Динаміка експоненційного зростання чисельності людської популяції від середньовіччя до наших днів.



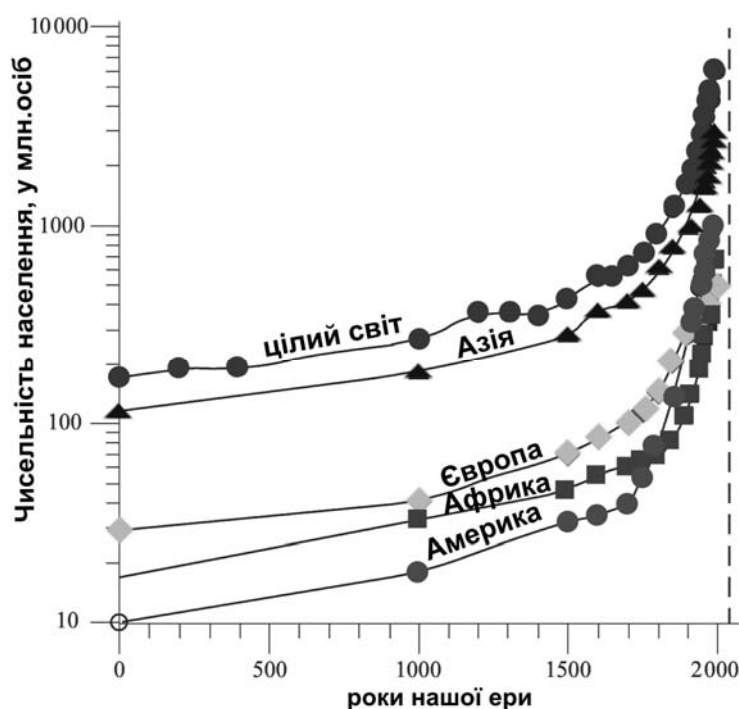
Починаючи з кінця ХХ століття експоненційне зростання чисельності населення зупинилось. В кожному разі на це вказує такий показник як час подвоєння чисельності населення. Якщо у 1950-1990 рр. він складав 38 років то наступне подвоєння згідно сучасних демографічних досліджень прогнозуєть через 100 років (табл.6).

**Таблиця 6.**

Час подвоєння чисельності людської популяції на планеті Земля

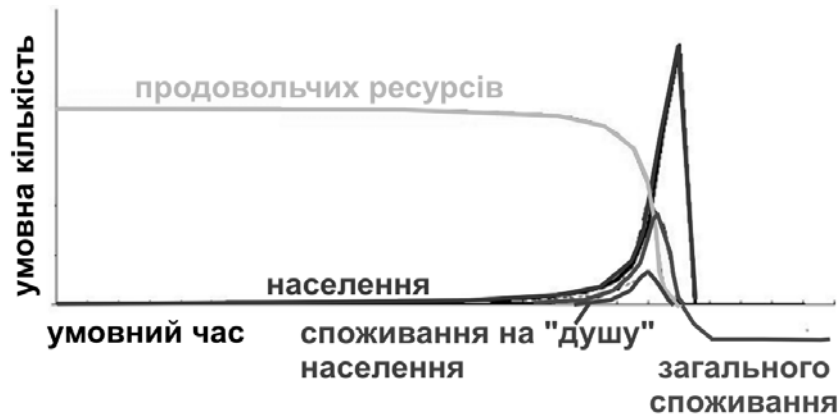
Період до н.е., років	Ріст, млн. людей	Час подвоєння чисельності, років	Період н.е. років	Ріст, млн. людей	Час подвоєння чисельності, років
7000-4500	10-20	2500	900-1700	320-600	800
4500-2500	20-40	2000	1700-1850	600-120	150
2500-1000	40-80	1500	1850-1950	1200-2500	100
1000-0	80-160	1000	1950-1990	2500-5000	38
<b>0-900 н.е.</b>	<b>160-320</b>	<b>900</b>	<b>1990-2090</b>	<b>5000-10000</b>	<b>100</b>

Тим не менше критична цифра у 10 млрд. осіб – перенаселеності планети Земля, особливо в Азії створює реальні загрозу вже у другій половині ХХІ століття (рис.12)



**Рис.12.** Динаміка мінливості зростання чисельності людської популяції на різних континентах.

Перенаселеність Землі може спровокувати екоцид та депопуляцію населення планети Земля в умовах збереження темпів зростання чисельності, сучасного рівня споживання ресурсів та їх виснаження у найближчому майбутньому за сценаріями екологічно-гумовленого голодомору острова Св. Матвія та екоциду острова Пасха – рис.13, зумовлене низкою причин та має глобальні наслідки.



**Рис.13.** Ймовірна прогностична модель екоциду та депопуляції населення планети Земля в умовах збереження темпів зростання чисельності, сучасного рівня споживання ресурсів та їх виснаження у найближчому майбутньому за сценаріями екологічно-гумовленого голодомору острова Св. Матвія та екоциду острова Пасха

**Глобальні екологічні причини невирішеності проблем продовольчої безпеки:**

1) ДЕФІЦИТ РОДЮЧОЇ ЗЕМЛІ ТА ЗНИЖЕННЯ ЇЇ РОДЮЧОСТІ внаслідок тривалого техногенного впливу.

2) ДЕФІЦИТ ВОДНИХ РЕСУРСІВ зумолений кліматичними причинами (через тривалу засуху) що призводить до неурожайності;

3) АРИДИЗАЦІЯ, ЗНЕЛІСЕННЯ І ОПУСТИНЮВАННЯ, що призводить до обмеження використання ґрунтів у сільськогосподарському виробництві.

4) ЗМІНИ КЛІМАТУ ТА ПОСИЛЕННЯ ПАРНИКОВОГО ЕФЕКТУ – внаслідок збільшення надходження в атмосферу діоксиду вуглецю (головним чином при дегазації надр і спалюванні органічного палива), метану (при емісії біогазу міських звалищ) і інших газів, яке викликає цілий ланцюг планетарних процесів.

5) ДЕФІЦИТ ЕКОЛОГІЧНО-БЕЗПЕЧНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ ТА ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ РОСЛИН.

6) ДЕГРАДАЦІЯ ҐРУНТІВ ВНАСЛІДОК АКТИВІЗАЦІЇ ЕРОЗІЙНОГО ЗМИВУ, ДЕГУМІФІКАЦІЇ ҐРУНТІВ, ЇХ ЗАБРУДНЕННЯ ТОКСИКАНТАМИ

7) ЗАСТАРІЛІ ТЕХНОЛОГІЇ АГРАРНОГО ВИРОБНИЦТВА.

7) ЗМЕНШЕННЯ БІОЛОГІЧНОЇ РІЗНОМАЇТНОСТІ природних екосистем – неминучий наслідок зменшення площі природних екосистем та зростання агроекосистем, техноекосистем, урбоекосистем.

**Глобальні екологічні наслідки невирішеності проблем продовольчої безпеки:**

1) ГОЛОД, ВИСНАЖЕННЯ ТА СМЕРТЬ ЗУМОВЛЕНІ НЕДОЇДАННЯМ – крайні наслідки складного переплетення соціальних, економічних, екологічних і демографічних проблем;

2) ЕКОЛОГІЧНО-ЗУМОВЛЕНІ МІГРАЦІЇ ЛЮДЕЙ ІЗ ПОЯСІВ ГОЛОДУ у ПОЯСИ ПЕРЕЇДАННЯ. Кофліктні ситуації, що супроводують цей процес.

3) ЗАГРОЗА ВІЙСЬКОВИХ КОНФЛІКТІВ, СПИЧИНЕНИХ ДЕФІЦИТОМ ПРОДОВОЛЬСТВА В ОДНИХ РЕГІОНАХ ТА ЙОГО НАДЛИШКУ В ІНШИХ;

4) ЗАГРОЗА ПОВНОГО ЗНИЩЕННЯ УНІКАЛЬНИХ ПРИРОДНИХ ЕКОСИСТЕМ ДЛЯ ЇХ ПЕРЕТВОРЕННЯ В АГРОЕКОСИСТЕМИ з метою вирішення проблеми дефіциту продуктів харчування

### Шляхи вирішення проблем продовольчої безпеки:

- 1 екстенсивний шлях – розширення орних і пасовищних угідь.
- 2 інтенсивний шлях – підвищення продуктивності угідь, виведення високоурожайних сортів, виробництво штучних продуктів.
3. Вирішення демографічної проблеми у глобальному масштабі
4. Збереження ґрунтового покриву
5. Рекультивація порушених земель

## РОЗДІЛ IV. ОСОБЛИВОСТІ БУДОВИ ЛІТОСФЕРИ. ПРИРОДНО-РЕСУРСНА, МІНЕРАЛЬНО-СИРОВИННА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА БЕЗПЕКА.

### Характеристика геосфер. Просторове положення літосфери у будова Землі.

Земля – третя планета Сонячної системи. Згідно сучасних наукових уявлень про генезис планети Земля, за теорією Великого Вибуху та ізотопно-геохронологічними даними вік Землі складає 4,5 млрд. років. Найдревніші ознаки життя на землі зафіксовані у геологічному розрізі Ісуа (Західна Гренландія), вік якого визначений у 3,8 мільярд років. Маса Землі  $5,975 \cdot 10^{27}$  г, вона становить 1/333432 маси Сонця; середня густина  $5,52 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Маса приблизно стабільна. Земля має складну форму геоїда, приблизно апроксимованого еліпсоїдом обертання.

З появою більш сучасних технічних засобів і методів триангуляційних робіт почались уточнення розмірів і форми Землі. в 1669-1670 рр. французький астроном Пікар за вимірами довжини дуги меридіану в  $1^{\circ}22'55''$  вирахував, що радіус Землі становить 6371692 м.

Сучасні уявлення про внутрішню будову Землі базуються на аналізі сейсмічних даних (рис.14).

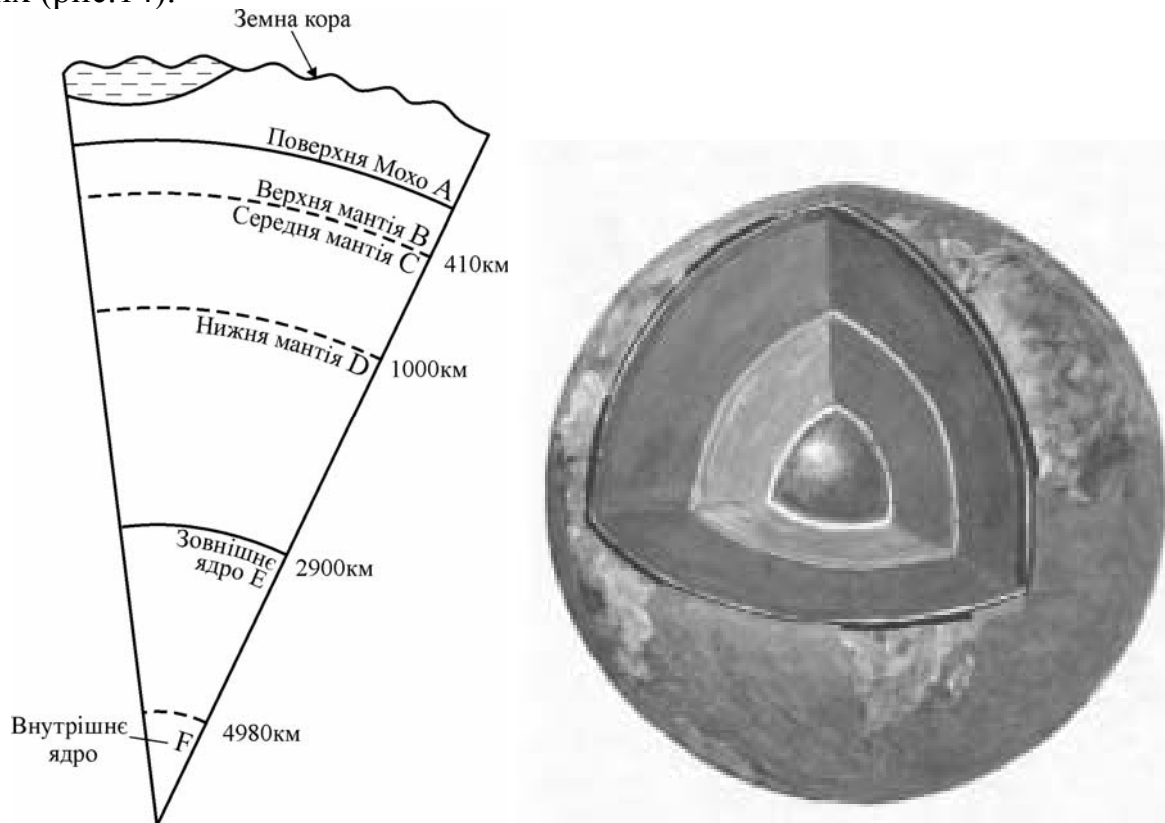


Рис.14. Сучасні уявлення про внутрішню будову планети Земля за сейсмічними даними.

У внутрішній будові Землі виділяють три оболонки: земну кору, мантію та ядро. Земна кора має товщину на континентах 40-80км, а під океанами- 5-10км. і складає 1% маси Землі. Земна кора складена на 99.5% , вісьмома хімічними елементами – киснем, кремнієм, кальцієм, воднем, алюмінієм, залізом, магнієм, кальцієм, натрієм. Мантія поділяється на верхню та нижню, а ядро на зовнішнє та внутрішнє ядро. Такий поділ ґрунтується на залежності від швидкості проходження сейсмічних хвиль, за яким виділяють 8 сейсмічних шарів: А,В,С,Д',D'',Е ,F і G: Земна кора (шар А) Мантія, – верхня (шар В), середня (шар С) і нижня (шар D) який ділиться на власне нижню мантію D' і перехідний шар між мантією і ядром D''. Ядро, яке ділиться на зовнішній рідкий шар Е, перехідний шар F між зовнішнім і внутрішнім шарами і внутрішній твердий шар G.

**Літосфера** – це тверда оболонка Землі, як знизу обмежена астеносферою, зверху – гідросферою та атмосферою, яка є матеріальною основою біосфери – сфери життя на нашій планеті. Літосфера є базисом для формування ґрунтів та ландшафтів, життя біоти.

**Геологічне середовище** – це частина літосфери, на яку прямо чи опосередковано впливає людина, досягаючи відповідних глибин бурінням свердловин (до 12 км), проходкою шахт (до 3,5 км), відробкою кар'єрів (до 1,5 км). Геологічне середовище сформувалось та динамічно змінюється внаслідок природних чинників – складної взаємодії верхньої частини літосфери з гідросферою, атмосферою, біосферою та техногенних впливів (процесів тектогенезу) – зумовлених гірничо-видобувною, інженерно-будівельною, гідротехнічною та інших видів діяльності людини.

**Хімічний склад літосфери.** Найбільше у літосфері кисню (49,13%), кремнію (26,0%) і алюмінію (7,45%). Менш розповсюджені залізо (4,20%), кальцій (3,25%), натрій, калій і магній (по 2,5 %), водень (1%), ще менше у корі титану (0,61%). Крім цих десяти елементів, на долю всіх решти припадає 0,71% – табл. 7.

**Таблиця 7**

Середні вмісти (кларки) малопоширених хімічних елементів у літосфері.

№	Еле-мент	Кларк, мас.%	№	Еле-мент	Кларк, мас.%	№	Еле-мент	Кларк, мас.%
11.	Cl	0,19	21.	Cr	0,019	31	Sn	0,0035
12.	P	0,09	22.	Ni	0,015	32	Y	0,0026
13.	C	0,087	23.	Sr	0,014	33	Nd	0,0022
14.	Mn	0,085	24.	V	0,014	34	Nb	0,0019
15.	S	0,048	25.	Zn	0,012	35	Pb	0,0018
16.	N	0,030	26.	Cu	0,010	Інші елементи (сумарно)	0,02 мас.%	
17.	Rb	0,029	27.	W	0,0064			
18.	F	0,028	28.	Li	0,0060			
19.	Ba	0,026	29.	Ce	0,0043			
20.	Zr	0,021	30.	Co	0,0037			

Таким чином літосфера є джерелом усіх необхідних для життєдіяльності живих організмів хімічних елементів.

## Природні ресурси та їх класифікація

Під природними ресурсами розуміють тіла, явища і процеси у довкіллі, які використовуються людиною у господарській діяльності, складають сировинну і енергетичну базу техноекосистем.

Природні ресурси класифікують за:

1) необхідністю – життєво необхідні (повітря, вода, продукти харчування) вкрай необхідні (будматеріали, енергоносії, метали), відносно непотрібні (діаманти, перлини);

2) масштабною – світові, глобальні, національні, територіальні;

3) просторовим розташуванням: зовнішні – енергія сонця, космічний простір, ресурси інших небесних тіл; – поверхні Землі – ресурси ландшафту (грунтові, водні); – земних надр – мінерально-сировинні, паливно-енергетичні;

4) належністю до певних компонентів довкілля: космічні, планетарні, ресурси літо- (грунтові, мінеральні, сировинні) гідро- (водні), атмо- (повітряні), біосфери (лісові);

5) цільовим призначенням: – матеріальні (мінерали, руди, породи), енергетичні (сонячна, водна, хімічна, атомна енергія); ґрунтові, біологічні (харчові, тваринний та рослинний світ), рекреаційні, естетичні, ті, які мають наукову, культурну та історичну цінність;

6) можливістю використання – використовувані (нафта, газ), недоступні (мантійна магма), резервні (геотермальне тепло), можливі для використання (відходи, вторинні ресурси);

7) ступенем вивченості – виявлені, вивчені, прогнозовані;

8) техногенним впливом на природні ресурси – зазнають шкідливого впливу, помірного або слабкого.

9) вичерпністю/відновністю – невичерпні ресурси (енергія сонця, припливи та відпливи, енергія текучої води, вітру, внутрішнє тепло Землі, кліматичні ресурси). вичерпні відновні – ґрунтові, водні, біологічні; невідновні – корисні копалини. частково відновні, придатні до повторного споживання (метали, пластик).

10) заміністю – замінні ресурси – це та частина природних ресурсів, що можуть бути замінені іншими зараз чи в майбутньому. незамінні ресурси – природні ресурси, які не можуть бути замінені іншими ні зараз, ні у визначеній перспективі.

11) виснаженістю – виснажні ресурси – усі види природних ресурсів, кількість яких може знизитися під впливом людської діяльності до такої межі, коли подальша їх експлуатація стає економічно нераціональною або загрожує їм повним фізичним зникненням. Виснаження природного ресурсу ще до фази його економічної нерентабельності призводить до повного незворотного знищення цього ресурсу або до екологічної катастрофи.

Невиснажні ресурси – це невиснажувана частина природних ресурсів, недостатність яких поки що не відчувається і не очікується у найближчому майбутньому.

### Природно-ресурсна безпека та закон обмеженості природних ресурсів

Під **природно-ресурсною безпекою** розуміють такий стан техноекосистем та довкілля, при якому природні екосистеми в умовах техногенного впливу без шкоди для себе (а відповідно і для людей) здатні віддавати необхідну людині продукцію або виробляти корисну для неї роботу при споживанні вичерпних та невичерпних, відновлюваних та невідновлюваних ресурсів не призводить до порушення стійкості техноекосистем, деградації екосистем та зростання загроз виникнення дефіциту

життєво-необхідних ресурсів, передбачає наявність ефективних альтернативних замінників виснаженого ресурсу, рециклінг спожитого ресурсу з відходів, впровадження технологій здатних використовувати некондиційні ресурси та залучати відновлюванні джерела.

Природно-ресурсна безпека ґрунтується на законі обмеженості природних ресурсів: всі природні ресурси в умовах Землі вичерпні. Планета є природно обмеженим тілом, і на ній не можуть існувати безконечні складові частин експлуатованих природних ресурсів.

Під поняттям “**антропосфера**” розуміють частину біосфери, літосфери, гідросфери та атмосфери, суттєво змінених діяльністю людини, що становить певну природно-технічну систему **антропоекосистему**. Для антропоекосистеми притаманні процеси, не характерні для природного стану екосистеми.

Під поняттям “**техносфера**” розуміють частину антропосфери у якій можливості техніки і масштаби господарської діяльності людства стали співрозмірними з екзогенними геологічними процесами, перевищили деякий критичний рівень, вичерпали буферні можливості природного середовища і стали причиною екологічних змін різного масштабу в умовах **техноекосистеми**.

Пі поняттям «**ноосфера**» розуміють природне, природно-техногенне та техногенно-змінене середовище змінене РОЗУМОВОЮ ДІЯЛЬНІСТЮ ЛЮДИНИ (греч. noos. — «розум», sphairie — «куля»), що передбачає **стабільний стан глобальної екосистеми в умовах керування інтелектом людини з позицій сталого розвитку**. З екологічної точки зору термін «ноосферний» передбачає таку діяльність людини у доквіллі, при якій забезпечується стійкий розвиток і стабільність глобальної екосистеми.

**Природокористування та природно-ресурсна безпека.** Природокористування – сфера суспільно-виробничої діяльності, спрямована на задоволення потреб людства за допомогою природних ресурсів та включає в себе:

- а) видобуток і переробку природних ресурсів, їх відновлення або відтворення;
- б) використання і охорона природних умов середовища;
- в) збереження (підтримка), відтворення (відновлення) і раціональна зміна екологічного балансу (рівноваги) природних систем, що буде основою збереження природно-ресурсного потенціалу.

Природокористування може бути **раціональним** або **нераціональним**. **Нераціональне** розглядається як система діяльності, що не забезпечує збереження природно-ресурсної безпеки. Таке використання природних ресурсів призводить до передчасного виснаження ресурсного потенціалу.

### **Шляхи вирішення проблеми: ноосферний підхід до забезпечення природно-ресурсної безпеки.**

Ще у ХІХ столітті вчені, інженери говорили про підкорення природи завдяки людському інтелекту, а вже у ХХ столітті зрозуміли, що людина не повинна володарювати над природою так, як завойовники над чужим народом. Ноосферний підхід, за В.І.Вернадським, полягає у панування людини над природою у тому, що на відміну від інших істот, людина вміє пізнавати її закони і правильно їх застосовувати, щоб уникнути безвідповідального відношення до доквілля. Для цього ноосферний підхід повинен відповісти на наступні питання:

- 1) якими повинні бути наші розумні дії, щоб від них не постраждало доквілля?
- 2) як уникнути небезпечних впливів на доквілля?
- 3) Куди і як направляти наші зусилля для забезпечення людських потреб, але не за рахунок зниження якості доквілля?

- 4) Які проблеми потрібно вирішувати насамперед, щоб зберегти природне середовище від деградації?
- 5) Що може собі дозволити людина, а чого не можна робити, з огляду на проблеми довкілля?
- 6) Як забезпечити потреби людини у ресурсах, що вичерпуються і у найближчій перспективі стануть недоступними?
- 7) Як мінімізувати енергетичні та ресурсні витрати людини?

### **Мінерально-сировинна безпека**

Під **мінерально-сировинною безпекою** розуміють такий стан техноекосистем та довкілля, при якому споживання вичерпних та невідновлюваних ресурсів мінеральної сировини не призводить до порушення стійкості техноекосистем, деградації екосистем та зростання загроз виникнення дефіциту мінерально-сировинних ресурсів, передбачає наявність ефективних альтернативних замінників виснаженого ресурсу, рециклінг спожитого ресурсу з відходів, впровадження технологій здатних використовувати некондиційні ресурси та нові джерела.

Мінерально-сировинні ресурси утворились в процесі геологічної еволюції літосфери за сотні тисяч, мільйони та сотні мільйонів років. Інтенсивна розробка родовищ веде до прогресуючого виснаження земних надр. Вичерпність мінерально-сировинних ресурсів визначається їх резервами в надрах та інтенсивністю використання людиною.

**Масштаби геологічної діяльності людини.** При видобутку корисних копалин і будівництві людина щорічно вилучає з надр 100 мільярдів тонн гірських порід, що приблизно в чотири рази більше маси матеріалу, який зноситься водами річок в океани в процесі денудації, розмиву суші.

Щорічний обсяг наносів, що переміщуються всіма текучими водами на земній поверхні, складає не більш 13 км<sup>3</sup>, тобто в 30 разів менше, ніж переміщується гірських порід при будівництві і видобутку корисних копалин.

При цьому треба мати на увазі, що сумарна потужність виробництва у світі подвоюється кожні 14 – 15 років.

Тобто антропогенна діяльність по своїх масштабах і інтенсивності стала не тільки співрозмірна з природними геологічними процесами (на що вказував на початку ХХ століття В.І. Вернадський), але в нас час за своїми масштабом і впливом на довкілля істотно їх перевершила.

**Теорія ресурсного голоду.** Високі темпи приросту споживання природних ресурсів за останні роки породили різні теорії щодо майбутнього забезпечення ними людей на Землі. Найбільш поширена теорія вичерпання природних ресурсів і настання РЕСУРСНОГО ГОЛОДУ. Особливо це стосується невідновлюваних природних ресурсів — мінеральної сировини і паливно-енергетичних ресурсів. За даними Д.Медоуза, відомі нині запаси корисних копалин будуть вичерпані протягом найближчих десятиріч.

За даними авторитетного міжнародного аналітичного центру, так званого «Римського клубу» (дослідження 2001 р.), поклади алюмінієвих руд будуть вичерпані за наступні 55 років, хрому — за 154, вугілля — за 150, міді — за 49, заліза — за 173, свинцю — за 64, нафти — за 50, природного газу — за 49 років. Причому термін вичерпання ресурсів був обчислений виходячи з припущення, що протягом наступних десятиліть розвідані ресурси зростуть в 5 разів у порівнянні з сучасними даними. Тобто будуть розвідані нові поклади, відкриті нові родовища, але, незважаючи, на це, час, коли вичерпаються запаси руд металів і паливно-

енергетичних ресурсів, дуже близький — він співвимірний зміні від 2-3 до 5-6 поколінь.

**Шляхи вирішення проблеми.** Дефіцит мінерально-сировинних ресурсів змушує шукати нові ареали, об'єкти і способи видобутку й переробки корисних копалин для отримання життєво важливих для людства сировинних ресурсів. З іншого боку — очікується відмова від соціальної філософії «суспільства споживання» й значне скорочення необов'язкових витрат, що дозволить продовжити термін споживання мінеральних ресурсів на декілька поколінь. Нові ареали — це, перш за все:

1. води Світового океану.
2. корисні копалини дна Світового океану.
3. поховані води і розсоли земних надр.
4. Охорона та раціональне використання ресурсів надр;
5. Максимально повне використання мінерально-сировинних ресурсів, у т.ч. вторинних, створення маловідходних технологій
6. важкодоступні поклади корисних копалин глибокого залягання.
7. сучасні відходи переробки мінеральної сировини — терикони, хвостосховища, мулонакопичувачі, сміттєзвалища.

1 км<sup>3</sup> вод Світового океану містить: 15 500 000 000 кг Cl, 10 000 000 000 кг Na, 1 000 000 000 кг Mg, 900 000 000 кг S, 350 000 000 кг Ca, 330 000 000 кг K, 70 000 000 кг Br, 12 000 000 кг Sr, 2000 кг Cu та Zn, 800 кг Sn, 280 кг Ag, 11 кг Au. На сьогодні з морської води економічно вигідно вилучати 4 елементи – Na, Cl, Mg, Br Хоча потенційні ресурси морів величезні, але не можуть використовуватись через відсутність раціональних технологій вилучення.

Охорона та раціональне використання ресурсів надр передбачає:

- Забезпечення повного і комплексного геологічного вивчення надр
- Повне вилучення з надр і раціональне використання запасів основних і попутних компонентів
- Охорона родовищ від затоплення, обводнення, пожеж
- Запобігання забруднення надр при підземному зберіганні токсичних відходів

Максимально повне використання мінерально-сировинних ресурсів, у т.ч. вторинних, створення маловідходних технологій призводить до повторного використання матеріалів, що вирішує цілий комплекс питань по захисту навколишнього середовища. При цьому скорочується потреба в первинній сировині, зменшується забруднення вод і земель, скорочуються енергетичні витрати на переробку сировини.

### **Енергетична безпека**

Під **енергетичною безпекою** розуміють такий стан техноекосистем та довкілля, при якому природні екосистеми в умовах техногенного впливу без шкоди для себе (а відповідно і для людей) здатні віддавати необхідну людині енергію або виробляти корисну для неї роботу при споживанні вичерпних та невичерпних, відновлюваних та невідновлюваних енергетичних ресурсів не призводить до порушення стійкості техноекосистем, деградації екосистем та зростання загроз виникнення дефіциту життєво-необхідних ресурсів, передбачає наявність ефективних альтернативних замінників виснаженого ресурсу, впровадження технологій здатних викорис-товувати некондиційні ресурси та залучати відновлюванні джерела.

Благополуччя людини в сучасному суспільстві ґрунтується на споживанні

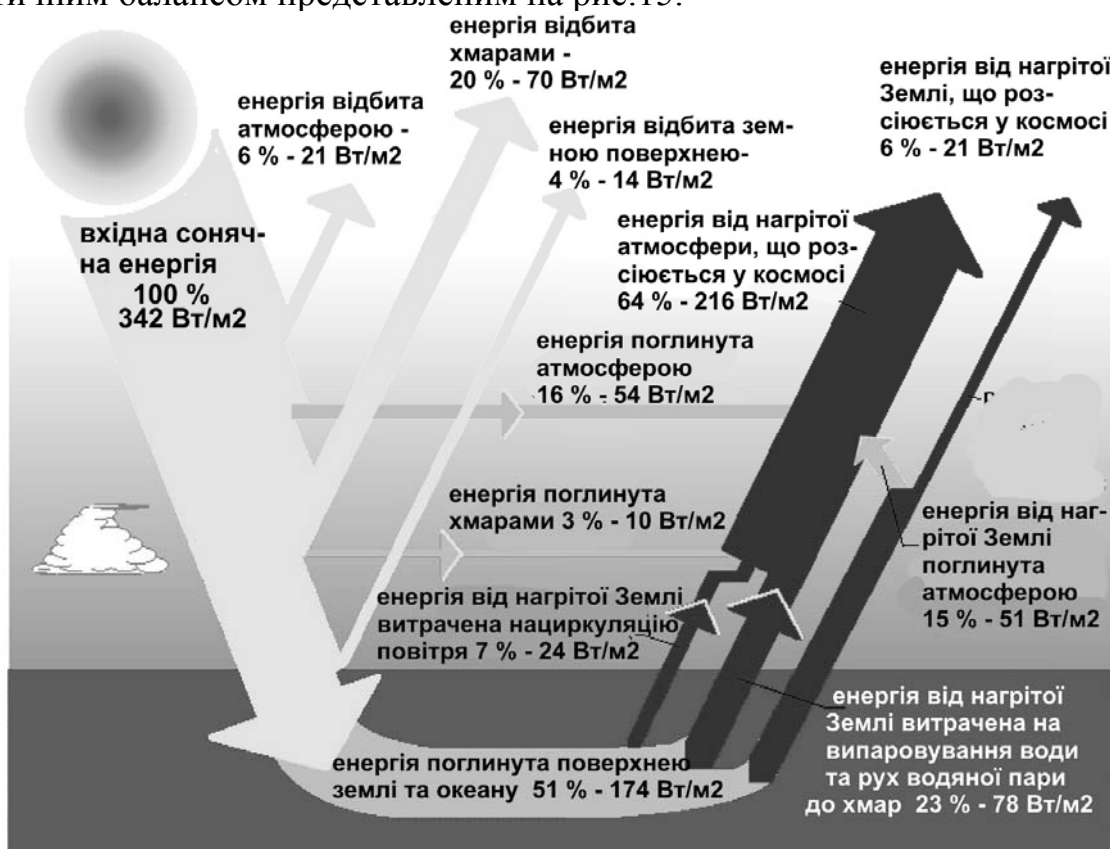


значних кількостей відносно дешевої енергії. Передбачається, що споживання енергії ростиме швидше, ніж приріст населення Землі, і принаймні подвоїться до 2050 р.

Більше 86% споживаної людством енергії, отримується при спалюванні органічних корисних копалин – вугілля, нафти, природного газу та ін., що приводить до щорічних викидів в атмосферу близько 5.5 Гт вуглецю у формі вуглекислого газу. У разі збереження нинішньої структури виробництва енергії викиди зростуть до 2050 р. до 11 Гт вуглецю в рік, що складе значну частку від повного круговороту вуглецю в доквіллі.

За останні 200 років концентрація вуглекислого газу в атмосфері збільшилася на 30%. Прогнози передбачають, що до 2050 р. вміст CO<sub>2</sub> в атмосфері подвоїться в порівнянні з до індустріальним рівнем.

Майже всі види енергії на Землі мають одне екзогенне джерело: енергію Сонця. Енергія сонця, яка доходить до денної поверхні Землі характеризується енергетичним балансом представленим на рис.15.



**Рис.15.** Енергетичний баланс енергії Сонця на поверхні Землі.

Крім екзогенного джерела енергії Сонця значна у надрах Землі акумульована практично невичерпна кількість ендогенної енергії, з яких людина використовує лише вичерпні **запаси урану** та частково – **геотермальне тепло**.

### Паливно-енергетичні ресурси

Під паливно-енергетичними ресурсами розуміють запаси палива і енергії в природі, які при сучасному рівні техніки можуть бути практично використані і до яких належать:

1. Різні види палива: нафта, кам'яне і буре вугілля, природний газ, горючі сланці, торф, деревина
2. Енергія падаючої води, енергія приливів, енергія вітру
3. Атомна енергія

#### 4. Сонячна енергія

#### 5. Геотермальна енергія

Паливно-енергетичні ресурси поділяють на невідновлювані та відновлювані

##### **До невідновлюваних належать:**

- викопне паливо: нафта, природний газ, вугілля, горючі сланці
- ядерне паливо – матеріали, які можуть виділяти енергію в процесі розпаду і синтезу атомних ядер
- легкі елементи – водень, гелій, літій – потенційне паливо термоядерних реакторів

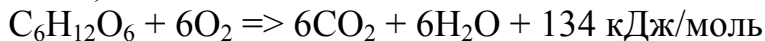
##### **До відновлюваних належать:**

- Енергія біомаси (енергія що вивільняється при її спалюванні)
- Гідроенергія (енергія падаючої води)
- Енергія вітру
- Сонячна енергія
- Енергія приливів і відливів
- Енергія хвиль
- Геотермальна енергія.

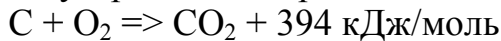
#### **Основні види викопного органічного палива та їх характеристика**

Під **органічним паливом** розуміють горючі речовини, основною складовою частиною яких є вуглець, і які застосовуються з метою отримання теплової енергії, що виділяється при їх спалюванні.

У доіндустріальний період основне джерело енергії – рослинна біомаса (деревина)



Індустріальний період: основне джерело енергії – викопне паливо



#### **Найважливіші види викопного палива та їх характеристика.**

**Нафта.** Найважливіший і економічно ефективний вид палива. При переробці одержують синтетичні палива і хімічну сировину. За Д.І.Менделєєвим спалювати нафту, це теж саме, що й грітися від спалюваних грошових купюр. Головна складова – вуглеводні (парафінові, нафтеніві, ароматичні)

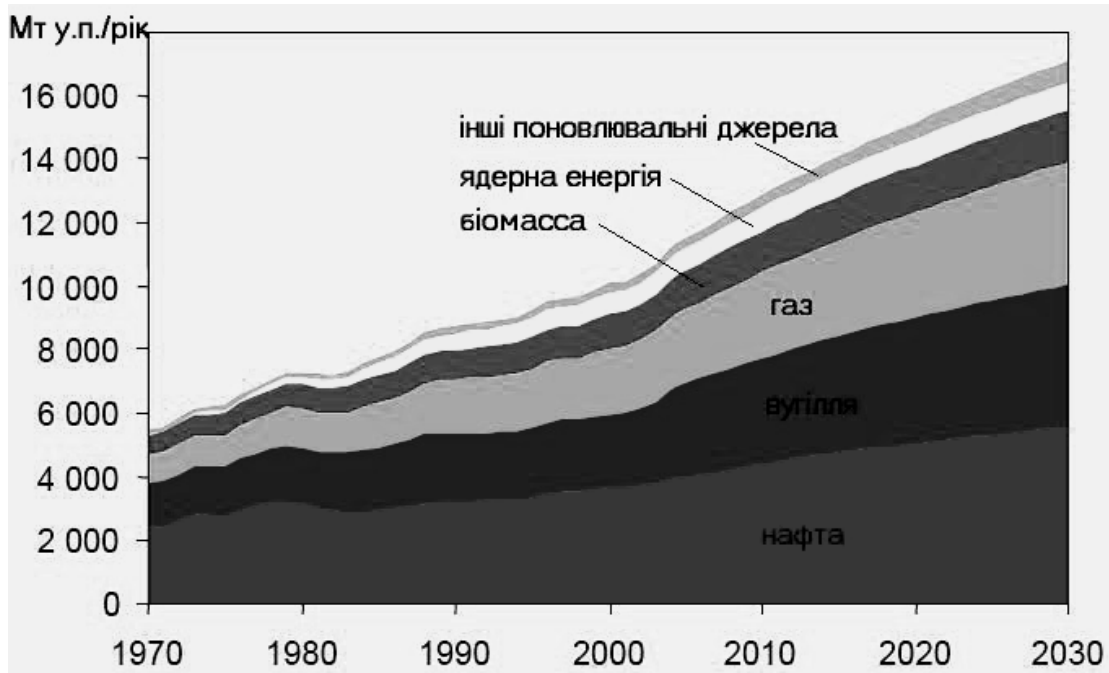
**Природний газ.** Екологічно найчистіше енергоджерело, основний компонент – метан  $CH_4$ .

**Кам'яне вугілля.** Найкрупніше джерело органічного палива на Землі. Може бути використане для отримання синтетичного палива.

Ці три основні види палива домінують у енергетичному балансі забезпечення потреб людини, над енергією біомаси, ядерною енергією та поновлюваними джерелами енергії як в останні роки так і найближчій перспективі (рис.16).

**Причини, що вимушують людство шукати альтернативні (відновлювані) джерела енергії:**

- Обмеженість запасів викопних палив
- Погіршення якості навколишнього середовища і стану здоров'я
- Підвищення концентрації  $CO_2$  в атмосфері
- Екологізація економіки
- Зростання цін на викопні палива
- Ненадійність поставок палива
- Стійкий розвиток енергетики



**Рис.16.** Енергетичний баланс забезпечення потреб людини в останні роки та найближчу перспективу

### Біоенергетичні та відновлювальні енергетичні ресурси

Під **біоенергетичними ресурсами** розуміють сировину та так звану «зелену енергію» – енергію, продукovanу безпечним для навколишнього середовища способом з біомаси.

Під **відновлюваними енергетичними ресурсами** розуміють екологічно безпечний процес отримання енергії від вітру, води, а також сонця та земних надр.

Місія цих енергетичних ресурсів – зберегти навколишнє природне середовище від негативного антропогенного впливу.

Біомаса – термін, об'єднуючий всі органічні речовини рослинного і тваринного походження, а саме:

- Первинну біомасу – деревину
- Повторну біомасу – відходи (солома, бадилля, тирса, тріска, гній, пташиний послід і ін.)
- Біодизель
- Біоетанол
- Біогаз (звалищний газ)

Технологія виробництва біодизелю доволі проста: за допомогою метилового спирту з олії видаляється гліцерин і на виході отримується пальне, яке за молекулярним складом подібне до дизпального і може використовуватися замість нього. Перелік переваг біодизелю доволі переконливий: викиди двигуна, який працює на біодизелі, порівняно з традиційними двигунами скорочуються на 30-60%; виробництво біодизелю дешевше: на Заході витрати на синтез 1 тис. л альтернативного пального становлять близько \$300 — щоб отримати аналогічну кількість бензину, необхідно удвічі більше коштів; менші витрати власників автотранспорту: в Німеччині літр біодизелю коштує на 15 EUR дешевше від звичайного дизельного палива. У Євросоюзі сьогодні на потребу паливно-енергетичного комплексу переробляється 2,7 млн. т олійних на рік і на АЗС надходить понад 1 млн т біодизелю. Рапс сприяє рекультиватії земель, забрудненим радіоактивними речовинами. Відходи рапсу можна використовувати як корми для худоби.

**Шляхи вирішення проблеми** – це радикальна перебудова нинішньої енергетичної системи. У людства є приблизно 50 років для того, щоб замінити теперішню енергетичну систему, засновану на спалюванні викопних енергоресурсів, на систему, що використовує інші екологічно чисті і відновлювані джерела енергії, перейти на системне енергозбереження та раціональне споживання. Можливості енергозбереження та економії енергії є при її виробництві, розподілі та споживанні.

Найбільш ймовірно, що нова енергетична система використовуватиме комбінацію різних джерел енергії: сонячну енергію, виробництво біомаси, ядерні реактори синтезу і термоядерну енергетику. Так нафтова криза 1973 року в багатьох країнах стала каталізатором пошуку альтернативних джерел енергії. Франція відтоді переорієнтувалася на атомну енергетику, а в Бразилії за браком нафти і високих технологій почали активніше використовувати цукрову тростину. Етанол став альтернативним паливом у Бразилії. Це джерело з часом перекирило 35% енергопотреб країни. З 80-х років Бразилія стала не лише однією з перших держав, яка активно запроваджувала використання альтернативного пального, а й одним з експортерів відповідних технологій та адаптованих двигунів.

## **РОЗДІЛ V. ЕКЗОГЕННА БЕЗПЕКА СТІЙКОСТІ ДОВКІЛЛЯ. НЕБЕЗПЕЧНІ ЕКЗОГЕННІ ГЕОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ, ЇХ ПРИЧИНИ ТА НАСЛІДКИ, ПРОГНОЗ І ПОПЕРЕДЖЕННЯ, СПОСОБИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ.**

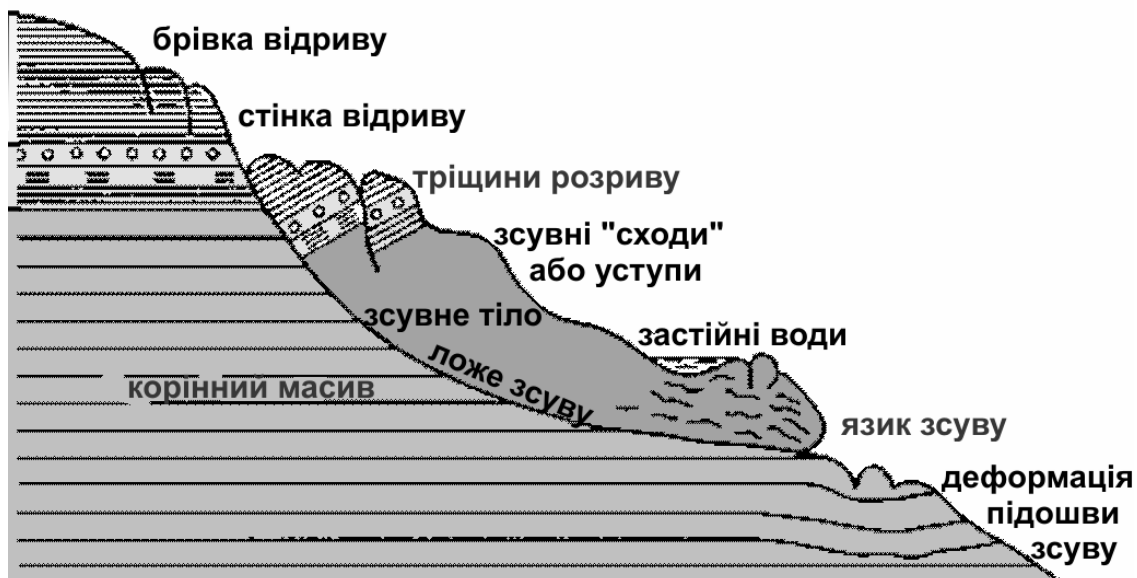
Внаслідок природного та техногенного впливів на стан геологічного середовища створюються передумови підвищення рівня екологічного ризику та активізації ендегенних і екзогенних геологічних процесів, що суттєво впливає на стан екологічної безпеки.

До небезпечних екзогенних геологічних процесів належать зсувні, солюфлюкційні, осипові, обвальні, карстові, суфозійні, просадочні та інші, які виникають внаслідок прямого чи опосередкованого впливу енергії Сонця внаслідок вивітрювання, денудаційної та акумулятивної роботи поверхневих вод, діяльності моря, озер і боліт, вітру, а також їх техногенної активізації.

До небезпечних ендегенних геологічних процесів належать вулканічні виверження, тектонічні рухи, землетруси та інші, які виникають внаслідок прямого впливу внутрішньої енергії земних надр. Роль техногенного чинника у активізації ендегенних процесів є значно меншою ніж вплив на екзогенні прояви.

**Зсуви та селеві потоки.** Під зсувом у вузькому розумінні розуміють масу корінних порід або ґрунтів, що під дією сили тяжіння зміщуються уздовж стінки відриву, що має різну форму – плоску, дугоподібну, напівциліндричну та ін. (рис.17).

Природними причинами активізації зсувів є особливості літологічного складу гірських порід, їх фізичне, хімічне та біологічне вивітрювання, ерозійна робота постійних та тимчасових водотоків, що призводить до підрізання схилів, тектонічні рухи та ін. Гірничо-видобувна та інженерно-будівельна діяльність людини активно сприяє утворенню зсувів. Вважається, що близько 80% сучасних проявів зсувних процесів мають техногенну природу. Техногенними причинами активізації зсувів є: підрізання схилів та укосів, перевантаження їх при будівельних роботах, обводнення та перезволоження, вибухові роботи, ерозійна робота штучних каналів та дренажів і т.п..



**Рис.17.** Елементи будови типового зсуву.

В залежності від динаміки прояву зсувного процесу та періодичності активізації на окремій ділянці виділяють прості, субпаралельні та багатофазні зсуви. Зсуви відбуваються з різними швидкостями (повільні, середні, швидкі). Швидкість руху швидких зсувів іноді досягає десятки кілометрів за годину. Ознакою нещодавнього зсуву є так званий «п'яний ліс», а давнішого – шаблевидні дерева. У широкому сенсі до зсувних процесів відносять не тільки власне зсуви, але й селі, різноманітні каменепади, осипи та інші утворення.

Зсуви можуть руйнувати населені пункти, знищувати сільськогосподарські угіддя, створювати небезпеку для трубопроводів, ліній зв'язку, електропередач тощо. Крім того, вони можуть перегородити долину, створити завальне озеро і сприяти утворенню паводків та активізації селевих потоків. Прикладом такого сценарію розвитку зсувного процесу є активізація селевого потоку при сходженні зсуву об'ємом 240 млн. м<sup>3</sup> 9 жовтня 1963 р. із схилу гори Струм в Італійських Альпах у водосховище вище по течії від дамби Вайонт (рис.18).



**Рис.18.** Активізація селевого потоку внаслідок сходження зсуву зі схилів г.Струм у водосховище, внаслідок чого 9 жовтня 1963 р. у селищі Лонгароне загинуло понад 2500 осіб.

Внаслідок потрапляння зсувного тіла у водосховище, дамба встояла, але хвиля заввишки 100 м перелилась через гребінь, перетворилась у селевий потік, який повністю знищив селище Лонгароне, де загинули понад 2500 осіб.

В гідрології під селем розуміється паводок з дуже великою концентрацією завислих речовин, каміння і уламків гірських порід (до 50-60 % об'єму потоку), який виникає в басейнах невеликих гірських річок і сухих русел та викликаний, як правило, зливовими опадами або бурхливим таненням снігів. Сель – це короткотривале (1-3 години) явище, характерне для малих водотоков завдовжки до 25-30 км і з площею водозбору до 50-100 км<sup>2</sup>.

За літологічним складом селі поділяють на "грязьові", "кам'яні" і "водакам'яні".

Селі характеризуються просуванням лобової частини у формі валу з води і наносів або частіше наявністю ряду валів, що послідовно зміщуються. Проходження селя супроводжується значним переформовуванням русла. Передумовами сходження селевих потоків є:

- 1) значний перепад висот між зоною живлення та зоною розвантаження;
- 2) значна водонасиченість та повільна водовіддача ґрунту;
- 3) незакріпленість ґрунту деревно-рослинним шаром;
- 4) значна кількість опадів

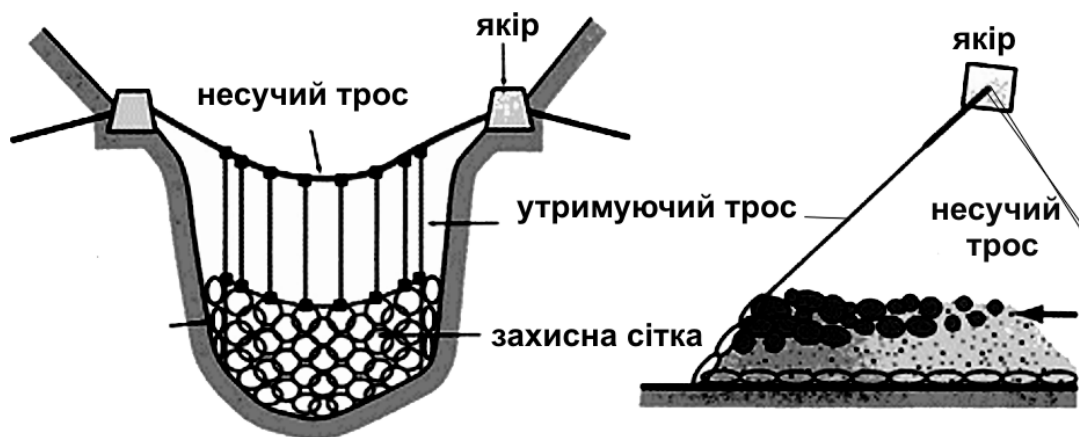
Морфологічними ознаками сходження селевого потоку є:

- 1) V-подібна долина
- 2) наявність «конусу виносу».
- 3) значний (не менш 0,10) ухил тальвегу
- 4) наявність значних скупчень продуктів вивітрювання гірських порід.

Шаруватість, кут падіння та блоковість корінних порід сприяють активізації селевого потоку.

До заходів що попереджують чи мінімізують негативні наслідки від сходження селевих потоків та підвищують рівень екологічної безпеки селенебезпечних територій належать:

1. облаштування "пасток" селевих потоків на ділянках їх ймовірного сходження (рис.19);



**Рис.19.** Вигляд спереду та збоку пастки на шляху сходження селевого потоку.

2. облаштування селескидів чи селепропусків поблизу відповідальних інженерних споруд;
3. інженерне закріплення селенебезпечних ділянок.
4. лісомеліорація схилів та закріплення рослинного покриву.

**Просадочність ґрунтів.** Під просадочністю розуміють властивість ґрунту змінювати свою структуру (упаковку частинок) шляхом ущільнення, під впливом обводнення, власної ваги чи зовнішнього навантаження на більш компактну структуру за рахунок зменшення пористості. Зміна об'єму порожнин може відбуватися внаслідок деформацій під впливом вищезазначених причин. Деформації ґрунтів мають пружний і пластичний характер. Пружні деформації виникають при навантаженнях, що не перевищують міцності структурних зв'язків в ґрунті. Такі деформації відбуваються без відносного зміщення твердих частинок і обумовлюються лише пружним стисненням скелету ґрунту, тонких плівок води, пухирців повітря. Ущільнення ґрунту при цьому не відбувається. При навантаженнях, що перевищують структурну міцність ґрунту, виникають пластичні деформації, зумовлені відносним зміщенням частинок. При цьому відбувається ущільнення ґрунту та його просідання.

Найчастіше посадочними властивостями характеризуються власне леси та лесовидні суглинки, які локалізовані у зоні аерації, у верхній частині геологічного розрізу. Леси та лесовидні ґрунти зафіксовані у геологічному розрізі понад 80% території України. Є дві основні гіпотези причин просадочності лесів.

1. Просадочність лесу – є його первинною властивістю, що формується безпосередньо в ході накопичення і перетворення мінерального пилюватого осаду у лесовидну товщу.

2. Просадочність лесу – новоутворена властивість ґрунту, яка набувається в результаті циклічного сезонного промерзання-відтаювання початкового пилюватого ґрунту і видалення з них льоду за допомогою сублимації (випаровування льоду минаючи рідкий стан). В ході промерзання порова вода перетворюється на лід, ущільнює породу і сприяє дробленню більш крупних піщаних зерен до розміру пилюватих частинок та формування макропористої структури ґрунту, яка деформується під впливом обводнення, власної ваги чи зовнішнього навантаження від споруд, відвалів, насипів.

Виділяють два типи просадочних ґрунтів:

I тип – просадка ґрунту під впливом власної ваги не перевищує 5 см.

II тип – просадка ґрунту під впливом власної ваги є більшою за 5 см.

Будівництво промислових та житлових споруд на просадочному ґрунті без урахування цього чинника чи вжиття запобіжних заходів пов'язане з підвищеними ризиками деформацій, тріщиноутворення та руйнування будівель, суттєвим зниженням рівня екологічної безпеки.

До заходів що попереджують чи мінімізують негативні наслідки від просідання ґрунтів та підвищують рівень екологічної безпеки територій у геологічній будові яких наявні просідаючі ґрунти належать:

1. **Влаштування ґрунтових подушок з непросадочних ґрунтів з їх укочуванням та трамбуванням (приповерхневим та пошаровим ущільненням),** яке здійснюється шляхом послідовного приповерхневого та пошарового ущільнення пересипаних шарів, приводить до зміни фізичних характеристик і підвищення несучої здатності ґрунтової основи з просадочних ґрунтів.

2. **Вібруущільнення в умовах штучного обводнення (змочування) просадочної товщі** застосовують для підвищення стійкості й міцності просадочних ґрунтів за рахунок перебудови їх структури, більш щільного укладання зерен, зниження пористості і збільшення кута внутрішнього тертя шляхом вібрударного впливу.

3. **Термічне зміцнення просадочних ґрунтів (випал)** здійснюють шляхом впливу на породу розжарених газів або при спалюванні пального у спеціально пробурених свердловинах. При цьому лесовий ґрунт перетворюється в стійкий штучний камінь (черепок).

4. **Цементування та силікатизація просадочних ґрунтів** проводиться з метою їхнього зміцнення шляхом запомповування через спеціально пробурені свердловини цементного розчину, рідкого скла, хлористого кальцію чи інших реагентів, що призводять до утворення структурних зв'язків між порожнинами у лесовидних ґрунтах та новоутвореними стійкими алюмінатами та силікатами (цементациї ґрунтової основи).

5. **Облаштування фундаментів будівель на просадочних ґрунтах з буронабивних паль** проводиться для ущільнення та підвищення несучої здатності ґрунту на всю глибину впливу споруди. При цьому пройдені в слабкому ґрунті свердловини великого діаметра заповнюють вологим піском, який додатково ущільнюють.

6. **Влаштування пального фундаменту з проходженням товщі просадочного ґрунту та опорою на непросадочні ґрунти** застосовується для просадочних ґрунтів II типу для особливо відповідальних споруд.

7. **Гідроізоляція ґрунтової основи та фундаментів будівель зведених на просадочних ґрунтах** для запобігання можливих деформацій при обводненні.

8. **Врахування амплітуди просідання та коригування навантажень на ґрунт при зведенні споруди, з метою кінцевого досягнення проектного положення та рівня навантаження.**

9. **Піддомкращування та вирівнювання похилих і деформованих споруд на просідаючих ґрунтах.**

При виборі заходів зміни властивостей просідаючих ґрунтів, способу зведення будівель чи коригування деформацій в необхідному напрямку обов'язково враховують характер структурних зв'язків, генетичний тип, найважливіші властивості змінюваних порід, гідрологічні та гідрогеологічні умови, особливості існуючої забудови та ін.

**Розбухання (пучіння) ґрунтів** являють собою явища місцевого підняття (висотою до 20 см і більше) ділянок на яких розташовані інженерні споруди (будинки, автодороги, залізниці), зумовлені взаємодією води з розбухаючими мінералами (розбухання) чи з сезонним промерзанням верхньої частини ґрунту з кристалізацією з води льоду, пропорційно до маси замерзлої води на 10% збільшується об'єм (пучіння). Внаслідок наявності у геологічній будові території розбухаючих ґрунтів утворюються локальні підвищення рельєфу (при надходженні води у ґрунт чи її кристалізації у лід), а також западини та пониження рельєфу (при обезводненні ґрунту чи розтаненні льоду).

**Причинами розбухання ґрунтів є:**

1) наявність у верхній частині геологічного розрізу глинистих прошарків, що містять розбухаючі мінерали, насамперед смектити – нонтроніт, сапоніт чи монтморилоніт, які при розмоканні збільшуються в об'ємі;

2) диспергування глинистих прошарків при підготовці ґрунтового масиву до господарського використання, що сприяє глибшому проникненню вод;

3) тривала перезволоженість ґрунтів з прошарками глини;

4) катіонний обмін між твердою та рідкою фазами ґрунтів.



### Причинами морозного пучіння ґрунтів є:

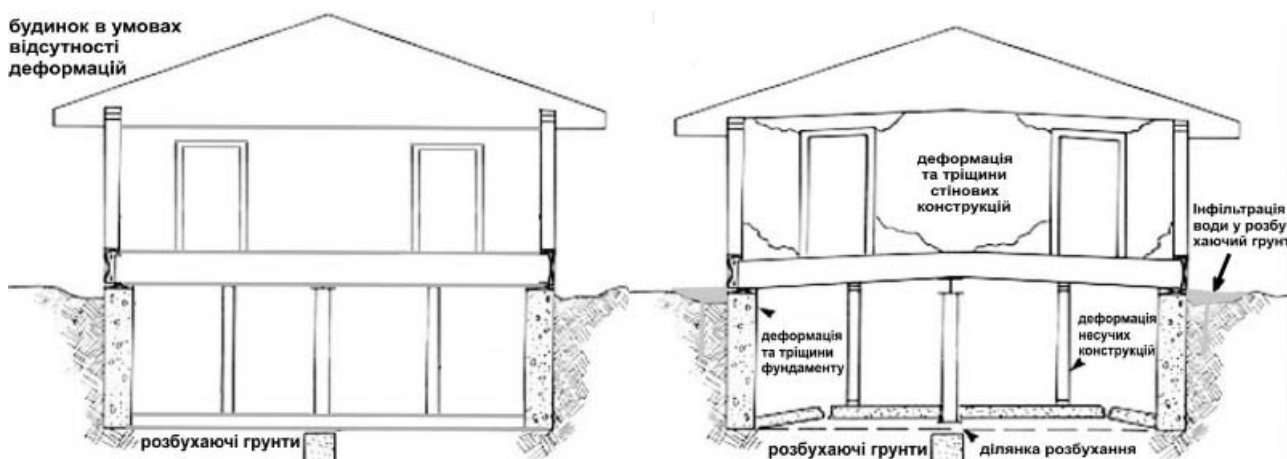
1) приповерхневе промерзання ґрунту, з блокуванням вивільнення порової води на поверхню та у високопористі не пучинисті прошарки, її поступової розкристалізації, що призводить до зростання тиску льоду на глинисті прошарки та зростання об'єму ґрунту. В пористих ґрунтах волога безперешкодно проходить крізь пори і пучіння ґрунту не відбувається. Тоді як глинисті прошарки є типовими водотривом, що погано фільтрують воду, яка у них зокристалізовується та зумовлює пучіння.

2) наявність у верхній частині геологічного розрізу, у зоні промерзання ґрунту понад 15% глинистих мінералів, їх слабка водопроникненість та погана водовіддача.

3) високі рівні ґрунтових вод вище зони промерзання.

4) зростання об'єму льоду при кристалізації води на 10%, що не компенсується ущільненням порожнин у низькопористого ґрунту.

Особливе небезпечними явища розбухання та морозного пучіння ґрунтів є за умов нерівномірного деформування та прямої інфільтрації води до глинистих прошарків. За таких обставин у погодних умовах помірного клімату за декілька років низько закладені фундаменти підіймаються та опускаються кілька разів, внаслідок чого відбувається зміна його просторового положення, що у свою чергу позначається на стінах і перекриттях: спостерігається їх перекошування, деформування, втрата стійкості, що зумовлюють аварійний стан будинку та навіть його руйнування (рис.20).



**Рис.20.** Передумови та механізм розбухання і морозного пучіння ґрунтів, що призводять до перекошування, деформування, втрати стійкості, аварійного стану будівель та навіть їх руйнування.

До заходів що попереджують чи мінімізують негативні наслідки від розбухання і морозного пучіння ґрунтів та підвищують рівень екологічної безпеки територій у верхній частині геологічного розрізу яких наявні глинисті прошарки належать:

1. гідроізоляція та дренажування ґрунтових основ, що містять глинисті прошарки і фундаментів будівель на них з метою відведення поверхневих та ґрунтових вод;

2. закладення фундаментів будівель в умовах ґрунтових основ, що містять глинисті прошарки на штучно відсипаних піщаних подушках;

3. закладення фундаментів будівель нижче зони промерзання ґрунтів.

**Карстово-суфозійні процеси** являють собою явища деформації денної поверхні внаслідок вилуговування водо-розчинних порід (карст) та механічного винесення інфільтраційними потоками ґрунтових вод тонкодисперсних частинок ґрунту (суфозія).

У широкому сенсі під карстом розуміють специфічні явища, форми і процеси, властиві територіям, складеним розчинними у воді породами (соленосними товщами, гіпсами та вапняками). Складні форми поверхні, що виникають в місцях залягання у зоні активного водообміну легкорозчинних у воді порід, зумовлені ініціальними чинниками активізації карсту, насамперед наявності стійкої у часі дренажу підземних вод нижче підшви водорозчинних порід. У вузькому гідрогеологічному сенсі карст представляє собою денудаційний гідрогеологічний процес та комплекс взаємозв'язаних екзогенних геологічних процесів, що розвивається в розчинних у воді породах та зумовлюють ослаблення ґрунтового масиву при вилуговуванні соляних порід, гіпсів чи вапняків поверхневими і підземними водами, що ініціюють відповідно розвиток соляного, сульфатного чи карбонатного карсту. При взаємодії води з соляними породами вода розчиняє легкорозчинні мінерали (галіт, сильвін, каїніт та ін.), які відносяться до хлоридів, сульфатів та боратів натрію, калію, кальцію, магнію, літію. Розчинність солей може досягати 320 г/л (NaCl) і навіть 425 г/л (калійні солі). При взаємодії води з гіпсово-ангідритовими породами вода розчиняє сульфати кальцію – ангідрит  $\text{CaSO}_4$ , гіпс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Розчинність гіпсу може досягати 2,5 г/л. При взаємодії води з вапняками, мергелями та доломітами вода розчиняє карбонатні мінерали – кальцію, магнію – кальцит  $\text{CaCO}_3$ , магнезит  $\text{MgCO}_3$ , доломіт  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ . Розчинність карбонатів може досягати 0,5 г/л.

Передумовою розвитку карсту є розташування солевмісних, гіпсових та карбонатних товщ нижче місцевого базису ерозії (базису карстової денудації), коли атмосферні води інфільтруючись у ґрунт, під дією сили гравітації активно вилуговують легкорозчинні компоненти. Саме такі умови розвитку карсту притаманні для:

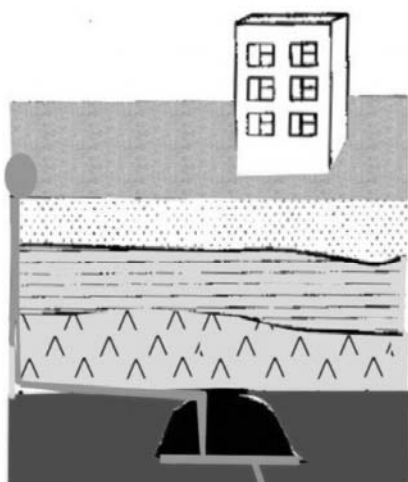
- 1) вододільних ділянок, де водорозчинні породи локалізовані у зоні активного водообміну;
- 2) територій, де має місце дренажу водорозчинних порід гірничими виробками (шахтами, кар'єрами) та водозаборами.

У першому випадку говорять про природній розвиток соляного, сульфатного чи карбонатного карсту, тоді як у другому – про техногенно-активізований карст. В обидвох випадках, за умов активізації карсту, суттєво обмежується господарське використання території, підвищуються соціально-економічні та екологічні ризики для інженерних споруд, комунікацій, майна, життя та здоров'я людей.

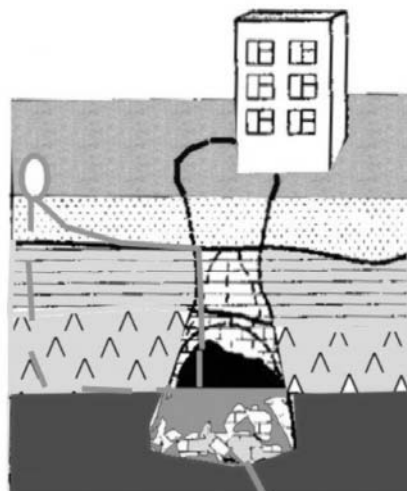
Під суфозією розуміють процеси механічного виносу водою тонко дисперсних фракцій пухких ґрунтів та пов'язані з ними явища просідання, деформації і провалювання денної поверхні. Суфозія властива територіям, де наявні має місце вільне розвантаження інфільтраційних вод, наприклад у нижчезалягаючі карстові порожнини чи інженерні споруди (каналізаційні колектори, водогінні та інші комунікації). У першому випадку мають місце так звані карстово-суфозійні явища, у другому – техногенно-активізованої суфозії. Техногенно-активізована суфозія суттєво обмежує господарське використання території, підвищує екологічні ризики насамперед для міської інфраструктури.

Суфозія супроводжується утворенням лійок, блюдець, западин, провалів на денній поверхні, виникненням підземних та поверхневих порожнин, які маркуються провалами та зміщеннями земної поверхні.

**У розвитку карсту виділяється чотири основні стадії (рис.21)**



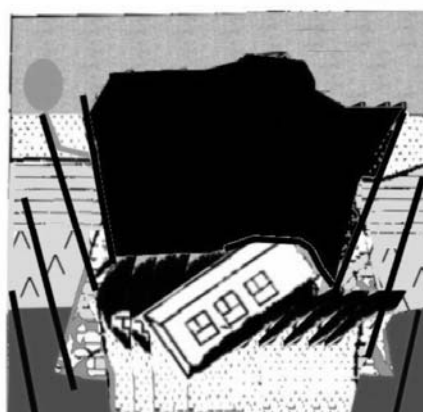
1) Корозійно-ерозійна стадія



2) Обвально-суфозійна стадія



3) Обвальна стадія



4) Стадія стабілізації карстової лійки та формування карстового рельєфу

**Рис.21.** Стадії розвитку карсту.

**1) Корозійно-ерозійна стадія:**

- а) проникнення агресивних вод у товщу водорозчинних порід;
- б) зниження рівня базису ерозії;
- в) активне розчинення водорозчинних порід, за умови збереження стійкості склепіння;

**2) Обвально-суфозійна стадія:**

- а) подальше розчинення водорозчинних порід;
- б) суфозія теригенного матеріалу (піску, глини) з вищележачих товщ у карстову порожнину та її самокольматація;
- в) поява заколів та тріщин на поверхні, просідання з утворенням стінок відриву біля контурів майбутнього карстового провалу.

**3) Обвальна стадія:**

- а) обрушення вищезалягаючих відкладів та утворення карстових порожнин на поверхні;
- б) заповнення карстової порожнини водою, піском та глиною.

**4) Стадія стабілізації карстової лійки та формування карстового рельєфу:**

- а) розширення карстової порожнини;

- б) припинення розчинення;
- в) формування кута природного відкосу перекриваючих порід та стабілізація карстової лійки з формування карстового рельєфу.

**У розвитку суфозії виділяється чотири основні стадії (рис.9)**

**1) Ініціальна стадія розвитку суфозії:**

а) формування скаламученої води та суспензії при взаємодії води з тонко дисперсними частинками.

б) початковий рух скаламучених вод та суспензій до зони розвантаження.

**2) Стадія виносу тонко дисперсних частинок.**

а) стійкий руху скаламучених вод і суспензій з денної поверхні до зони розвантаження у вигляді спрямованих потоків

б) осадження твердої фази у вигляді конусів виносу.

**3) Стадія деформації та обвалювання денної поверхні**

а) лінійне просідання поверхні за рахунок приповерхневого винесення тонкодисперсних частинок вздовж напрямку потоку.

б) площинне просідання та обвалювання поверхні за рахунок розущільнення та втрати стійкості ґрунтового масиву.

**4) Стадія стабілізації провалля та формування суфозійних форм рельєфу.**

а) замулювання зони розвантаження суфозійного потоку;

б) припинення винесення тонко дисперсних частинок;

в) формування кута природного відкосу на стінках суфозійних проваль.

До заходів що попереджують чи мінімізують негативні наслідки від розвитку карсту і суфозії, та підвищують рівень екологічної безпеки територій належать:

1. заборона на будівництво на територіях, де за прогнозом можливе раптове чи не прогнозоване утворення провалів, у відповідності з Державними будівельними нормами України.

2. засипання та тампонування карстових порожнин і суфозійних лійок інертним до розчинення та непаддатливим до виносу закладочним матеріалом, з метою стабілізації ґрунтового масиву.

3. влаштування підсилених фундаментів будівель, що зводяться на закарстованих територіях та ділянках розвитку суфозійних явищ.

4. закріплення всієї або частини (не менше 5 м) товщі незв'язаних ґрунтів, що перекривають закарстованні породи, шляхом цементування, силікатування, бітумінування;

5. регулювання гідрогеологічної обстановки з метою стабілізації або уповільнення карстово-суфозійних процесів: дренавання, гідроізоляція, водовідведення, регулювання рівнів підземних вод.

6. ліквідація витоків з каналізаційних та водогінних мереж.

**РОЗДІЛ IV. ЕНДОГЕННА БЕЗПЕКА СТІЙКОСТІ ДОВКІЛЛЯ.  
ЗАГАЗОВАНІСТЬ ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА, НЕБЕЗПЕЧНІ  
ЕНДОГЕННІ ГЕОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ, ЇХ ПРИЧИНИ І НАСЛІДКИ,  
ПРОГНОЗ ТА ПОПЕРЕДЖЕННЯ, СПОСОБИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ.**

**Загазованість геологічного середовища.** Під загазованістю геологічного середовища розуміють підвищені концентрації у ґрунтовому повітрі, підвальних приміщеннях, гірничих виробках вибухонебезпечних вуглеводневих газів та

вугільного пилу, радіоактивних газів – радону та торону, токсичних і задушливих газів – сірководню, вуглекислого газу, силікатного пилу та ін. Загазованість має як екзогенну так і ендегенну природу, тісно пов'язана з особливостями геологічної будови, тектонічного режиму, гірничого впливу на надра та іншими чинниками, що мають як природні, так і техногенні причини.

Геологічне середовище територій загазованих вуглеводневими газами, насамперед метаном, приурочене до нафтових, газових та вугільних родовищ, головним чином порушеного геолого-розвідувальними та гірничо-видобувними роботами. Іноді причиною загазованості вуглеводневими газами є біохімічні процеси, що відбуваються в анаеробних умовах скупчень органічних відходів – побутового сміття та мулу з очисних споруд, а також у болотних ґрунтах та на торфовищах, де ґрунтове повітря збагачується біогазом – сумішшю головним чином метану та вуглекислого газу. Населення, яке проживає і працює на території, що має аномально високий рівень загазованості вуглеводневими газами, піддається істотному ризику погіршення стану здоров'я через отруєння, а також через ризик спонтанного вибуху метано-повітряної суміші. Часті вибухи метано-повітряної суміші та суміші повітря і вугільного пилу, через раптові викиди та недотримання правил техніки безпеки притаманні для вугільних родовищ Донецького басейну, що призводять до чисельних жертв. Вугільні шахти за ступенем небезпеки по метану, поділяються на наступні категорії: I — до  $5 \text{ м}^3/\text{т}$ ; II —  $5-10 \text{ м}^3/\text{т}$ ; III —  $10-15 \text{ м}^3/\text{т}$ ; IV (надкатегорійні) – понад  $15 \text{ м}^3/\text{т}$  чи з суфлярним виділенням метану; V — шахти, які розробляють пласти, небезпечні чи загрозливі по раптових викидах газу; VI — шахти, в яких відбуваються викиди породи з виділенням метану.

Причиною підвищення та раптового зростання концентрації вуглеводневих газів є газові еманції з порового середовища гірських порід та органічних скупчень у вільний замкнений, слабкопротіюваний, невентильований простір гірничих виробок, підвальних приміщень, підземних комунікацій, понижень рельєфу. Крім штучно створених шляхів міграції, надзвичайно важливими для переміщення вуглеводневих природних газів і утворення загазованих ділянок є природні канали руху – зони підвищеної тріщинуватості, гідрогеологічні «вікна» у водотривах та ін. Рушійною міграції вуглеводів є різниця тисків та процеси дифузії.

Геологічне середовище територій загазованих радіоактивними газами – радоном та тороном – проміжними продуктами радіоактивного розпаду відповідно радію та торію, тісно пов'язано з геохімічними та радіаційними аномаліями надр, гірськими породами з підвищеними вмістами урану, відходами радіоактивних елементів. Іноді причиною загазованості радіоактивними газами є внутрішнє оздоблення приміщень гранітними та пегматитовими плитами, а також замкненість, слабка протіюваність та невентильованість гірничих виробок, підвальних приміщень, підземних комунікацій. Слід зазначити, що природній радіаційний фон денної поверхні землі на 80 % пов'язаний з радіоактивними газами, насамперед з радоном. Поживання чи тривале перебування людини у місцях підвищених еманцій радіоактивних газів викликає низку захворювань, насамперед променевої та онкологічних.

Геологічне середовище територій загазованих токсичними та задушливими газами, насамперед сірководнем та вуглекислим газом, приурочене до родовищ самородної сірки, сульфідних мінералів, рідше вугілля, порушених гірничими роботами. Іншою причиною загазованості при поверхневого шару ґрунту цими газами є анаеробні біохімічні процеси на сміттєзвалищах, скотомогильниках,

мулових полях очисних споруд, у болотних ґрунтах та на торфовищах, де ґрунтове повітря збагачується біогазом, що містить до 50 % вуглекислого газу та містить сірководень. Ці гази схильні до акумулювання у непровітрюваних та ізольованих каналізаційних колекторах, де відбуваються аналогічні біохімічні процеси. Загазованість повітря сірководнем допускається до концентрації 0,01 мг/л, тоді як вдихання повітря з вмістом 1 мг/л сірководню за кілька хвилин може призвести до втрати свідомості та смерті. Збільшення концентрації вуглекислого газу у повітрі до 0,1 % приводить до дискомфорту, до 3% – до головного болю, задишки, зниження працездатності. при 4 – 5% – з'являється почервоніння обличчя, головний біль, шум у вухах, підвищення артеріального тиску, зростання серцебиття, збудження. Підвищення концентрації вуглекислого газу до 8-10% обумовлює утворення в крові карбоксигемоглобіна, швидко втрату свідомості і смерть. Відомі сотні приклади отруєння та навіть загибелі людей, які потрапляли у каналізаційні колектори та інші місця акумулювання токсичних та задушливих газів. Тривале вдихання силікатного пилу та інших видів аерозолів різної токсичності, призводить до хронічних захворювань органів дихання, викликаючи силікоз, азбестоз, бериліоз, рак легенів.

До заходів що попереджують чи мінімізують негативні наслідки від загазованості геологічного середовища та підвищують рівень екологічної безпеки належать:

1. дегазація потенційно загазованих покладів перед та під час виконання гірничих робіт;
2. вентилявання гірничих виробок та провітрювання підвальних приміщень;
3. суворе дотримання правил техніки безпеки, висока культура виробництва, із застосуванням приладів індикаторів та сигналізаторів небезпечних газів.
4. газоізоляція, газовий дренаж та вентилявання ґрунтової основи при зведенні будівель на загазованих територіях.
5. заборона на використання підвальних приміщень з підвищеним вмістом небезпечних газів у якості місць постійного проживання людей.

**Вулканізм.** Найбільш яскравим прикладом ендогенних процесів – процесів, що відбувається під впливом внутрішньої енергії Землі є ефузивний магматизм або вулканізм. Під магматизмом розуміються складні процеси виникнення магми в земних надрах та її переміщення її у верхні горизонти – інтрузивний магматизм та на поверхню нашої планети – ефузивний магматизм або вулканізм. Під вулканізмом розуміють явища виверження магми на поверхню континентів чи дно океану, внаслідок її дегазації та перетворення у лаву. На значних глибинах магма містить значну кількість розчинених під високим тиском у ній газів. Але по мірі просування магми до поверхні тиск зменшується, гази починають виділятися, а магма під час виверження виливається на поверхню як лава, кристалізується у вигляді вулканічних покровів, осідає у вигляді вулканічного попелу, брекчій та бомб. Місця винесення на денну поверхню чи океанічне дно лави називають вулканами, а періоди активності – вулканічними виверженнями. Вулкан вважається активним (діючим), якщо він активізувався хоча б один раз за останні 10 000 років. У цей, так званий історичний період зафіксовано 1511 вулканів, які на сьогодні потенційно у будь-який момент можуть активізуватись. Більшість із них зосереджено в межах рифтів та зон субдукції, що геоморфологічно приурочені до серединно-океанічних хребтів, океанічного узбережжя, островних дуг. На суходолі вдаленому від узбережжя діючі вулкани трапляються дуже рідко, головним чином в межах Східно-Африканського рифту.

Вулканічні виверження постачають на земну поверхню газоподібні, тверді і рідкі продукти. Гази, які насичують магму, є безпосередньою причиною вулканічних вивержень. Причиною активізації вулканів є поява ослаблених (тріщинуватих) зон над магматичним осередком, де розчинені у магмі газу вивільняються та ініціюють рух магми до поверхні. При дегазації магми газу переходять у свій нормальний стан, що супроводжується значним зростанням їх об'єму. Це призводить до «закипання» магматичного розплаву і підймання його разом із газами вгору. У рідких, більш високотемпературних магмах базальтового складу дегазація проходить відносно легко, а у в'язких кислих магмах виділення газів часто супроводжується експлозіями (вулканічними вибухами).

Хімічний склад вулканічних газів залежить від стадії виверження і від температури. Серед них розрізняють:

- **сухі фумароли** (від італ. fumare – димитися) – 1000-650°C, зневоднені хлористо- і фтористоводневі сполуки;
- **кислі фумароли** (650-400°C), обводнені HCl, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S;
- **лужні фумароли** (400-200°C), обводнені амонійні солі і випари аміаку;
- **сірчисті фумароли**, або **сольфатари** (від італ. solo – сірка) (300-100°C), газові еманції збагачені SO<sub>2</sub>, HS, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>;
- **вуглекислі фумароли**, або **мофети** (від італ. mefitis – шкідливе випаровування) (менше 100 °C), утворені переважно вуглекислим газом, меншою мірою H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>O.

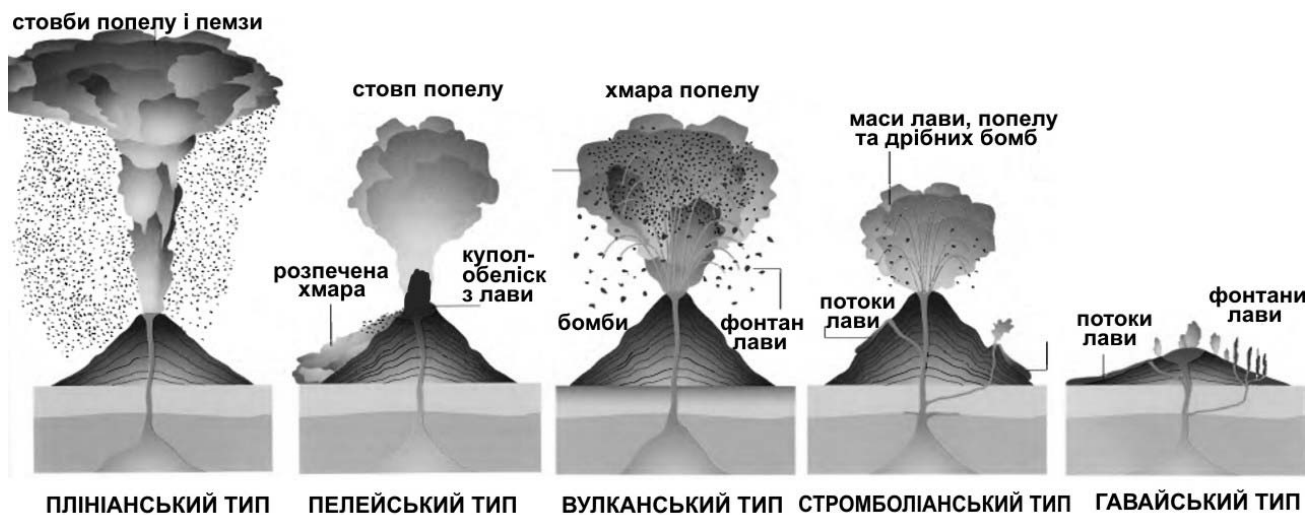
Мофети виділяються на стадії затухання вулканічної діяльності. Стінки кратерів вулканів внаслідок сублімації газових виділень покриваються скупченнями сірки, нашатирного спирту, сполук бору та ін..

Виверження вулканів супроводжується радикальною зміною ландшафту, знищенням ґрунтового та рослинного покриву, часто чисельними жертвами серед населення, радикальним зниженням рівня екологічної безпеки. За характером виверження в даний час виділяють ефузивні, або лавові, вулкани, змішані експлозивно-ефузивні вулкани (газово-вибухово-лавові) і експлозивні (газово-вибухові). Вулканічні виверження призводять до транспортування до денної поверхні газоподібних, рідких (розправлених) та твердих (розкристалізованих) речовин. Вулканічні газу у сукупності з тонко дисперсним вулканічним попелом у вигляді аерозолу, суттєво впливають на якість атмосферного повітря як безпосередньо біля джерела виверження так і на значних віддальх від нього. Прикладом останнього є виверження ісландського вулкану Ейяфьядлайекюдль навесні 2010 р., коли через підвищенні концентрації вулканічних аерозолів на висотах 8000-11000 м та їх загрозу безпеці руху літаків при потраплянні пилу у двигуни, на два тижні були заборонені пасажирські повітряні перевезення. За цей час авіакомпанії світу зазнали збитків на мільярди доларів.

Раптова активізація, після довгого періоду спокою, коли мешканці прилеглих територій не встигають евакуюватись з небезпечних зон, може призвести до чисельних жертв. В історії людства зафіксовано ряд катастрофічних вивержень коли гинули тисячі людей та знищувались цілі міста. Прикладами цього є виверження таких вулканів як Везувій (Італія) у 79 р.н.е., Унзен (Японія) у 1792 р., Тамбора (Індонезія) у 1815 р., Ель-Чичон (Мексика) у 1982 р. Нерадо-дель-руїс (Колумбія) у 1985 р. Часто вулкани «дрімають» сотні роки. Так вулкан Пінатубо на Філіппінах активізувався у 1911 році після 611 років спокою, а його виверження у 1991 р. є найпотужнішим за останнє століття.

Виверження вулканів може тривати від декількох годин до декількох місяців. Деякі вулкани знаходяться у постійному стані виверження, як наприклад, вулкан Стромболі у Італії, який активізується щопівгодини протягом останніх 2500 років.

За характером та інтенсивністю вивержень, петрологічним та хімічним складом продуктів вулканічної діяльності, просторової приуроченості до певної геотектонічної структури виділяється п'ять типів вулканічних вивержень: плініанський, пелейський – із експлозивним (газово-вибуховим) виверженням, стромболіанський, вулканський – зі змішаним газОВО-вибухово-лавовим виверженням та гавайський (ісландський) – із лавовим виверженням (рис.22.)



**Рис.22.** Основні типи вулканічних вивержень.

**1. Плініанський тип виверження.** Виверження цього типу характеризуються найбільшою інтенсивністю (в атмосферу на висоту 20-50 км викидається велика кількість попелу) і це відбувається безупинно протягом декількох годин і навіть днів. Пемза дацитового або ріолітового складу утворилася з вязкої лави. Найбільші виверження плініанського типу притаманні для вулканів Кракатау (1883, Індонезія), Везувію (79 р.н.е, Італія), Серро-Асуль (1932, Чілі), Сент-Хеленс (1980, США). За виверженням Везувію 79 р. н.е., що знищило місто Помпею, яке описане римським письменником Плінієм Молодшим, виверження цього типу отримали назву Плініанського. Найбільш потужним виверженням цього типу за останні 25000 років вважається активізація індонезійського вулкану Тамбора на острові Сумбава з 5 по 15 квітня 1815 р., коли об'єм викиду пірокластичного матеріалу склав 150-180 км<sup>3</sup>.

В результаті виверження утворилася кальдера діаметром біля 7 км та глибиною до 700 м. До виверження Тамбора мав висоту близько 4200 м, після виверження приблизно 2850 м. Такий масштаб виверження призвів до глобального впливу на клімат Землі, зі зниженням середньої температури на 2,5°C у 1816 році, який відомий в історії як «рік без літа»: коли лише у червні зійшов старий сніг, а у серпні вже випав новий. Це призвело, не тільки прямої загибелі 10 тис. та опосередкованої 177 тис. людей, але й до недозрівання урожаю та голоду у багатьох країнах північної півкулі. По загальній енергії виверження Тамбора перевершувало виверження Кракатау 1883 року, проте одноразова енергія вибуху Кракатау була найпотужнішою та у 26 разів перевищувала вибух найпотужнішої воднової бомби потужністю 50 мегатонн.

Більш потужними за виверження Тамбори та Кракатау були так звані супервулкани, з об'ємом викидів понад 1000 км<sup>3</sup> до яких належать виверження:



1) новозеландського вулкан Таупо 27 тис. років тому з об'ємом викиду біля  $1100 \text{ км}^3$  вулканічного попелу та  $530 \text{ км}^3$  лави.

2) індонезійського вулкану Тоба на о. Суматра 73 тис. років тому, з площею кальдери  $1775 \text{ км}^2$ , з об'ємом викиду біля  $3000 \text{ км}^3$ . За даними досліджень та теорією американського дослідника С. Емброуза, після виверження супервулкану Тоба на Землі до 10 років йшли кислі сірчисті дощі та наступила вулканічна зима з 1000-річним періодом похолодання. Такі критичні екологічні умови зумовили різке скорочення популяцій палеолітичних людей більш ніж на 99 % до 10-15 тисяч осіб та зумовили прояв ефекту горловини популяції (ефекту пляшкового горла).

3) Йеллоустонського вулкану на території Північної Америки близько 640 тис. років тому з об'ємом викиду біля  $2450 \text{ км}^3$  вулканічного попелу.

**2. Пелейський тип виверження.** Виверження цього типу характеризуються дуже вязкою лавою, що твердіє ще до виходу з жерла з утворенням одного або декількох екструзивних куполів, витисканням над ним обеліска, викидами гарчих хмар газів. До цього типу відносять виверження вулкана Монт-Пеле на о. Мартиніка (Малі Антільські острови). Внаслідок потужного вибуху вулкана 8 травня 1902 р. було повністю знищене місто Сен-П'єр з населенням в 30 000 жителів. Цьому передувало випадання попелового дощу та невеликі підземні поштовхи починаючи з 23 квітня 1902 р. Згодом випадання попелу та підземний гул посилювались. Вранці 8 травня спочатку все стихло, а згодом тріснула вершина вулкану з якої величезна «випалююча хмара» з температурою до  $700^\circ\text{C}$  і зі швидкістю до  $180 \text{ км/год}$  рушила вниз по схилу. За кілька секунд місто практично повністю спалахнуло. З тріщини на вершині вулкану почав підійматись екструзивний обеліск із кислої лави, висотою до 300 м. За деякий час обеліск зруйнувався і «випалюючі хмари» повторно ще кілька разів вкривали місто Сен-П'єр.

**3. Вульканський тип виверження.** Перед виверженням газу накопичуються всередині кратеру під в'язким шаром лави. Критичне накопичення газів призводить до їх раптових вивільнень та вибухів. При цьому виверження нетривалі (1-5 год), але часті (2-4 місяці). Висота викидів досягає 20 км. Лава текуча, базальтового або андезитового складу. Характерним є лавові фонтани та випадання найбільш крупних вулканічних бомб. Вулканічні споруди складені з лави і пірокластики (стратовулкани). Об'єм таких вулканічних споруд досить великий – від 10 до  $100 \text{ км}^3$ . До цього типу ставиться вулкан Вулькано у Середземному морі, Фуего в Гватемалі, який активізується кожні декілька років, викидами попелу базальтового складу, які іноді досягають стратосфери, а їхній обсяг при одному із вивержень склав  $0,1 \text{ км}^3$ .

**4. Стромболіанський тип виверження.** характерний для вулкана Стромболі, який розташований на Ліпарських островах у Середземному морі. Лава цього вулкану андезит-базальтового складу з температурою  $1000-1100^\circ\text{C}$ . Стромболі – постійно діючий вулкан. Виверження відбуваються ритмічно – через певні проміжки часу. Лава, яка разбригується при виверженні, майже завжди повертається у кратер і найчастіше розливається у вигляді лавових потоків через сателітні джерла. Попелові покрови мають меншу площу, ніж при виверженнях вулканського типу. Часто викидаються лапілли та дрібні бомби. Крім Стромболі, до цього типу належать вулкани Ясур на о. Вануату у Тихому океані, Парикутін у Мексиці. Останній за період від початку активності 20 лютого 1943 р. до закінчення 9 березня 1952 р. сформував конус вулканічного шлаку висотою 300 м, попелом були засипані округи, а лава розлилася на площі  $18 \text{ км}^2$  і знищила декілька населених пунктів.

**5. Гавайський (ісландський) тип виверження** характерний для рифтових зон та ділянок зчленування океанічних плит з виключно базальтовим складом лави. Виверженню лави передує серія підземних поштовхів. У подальшому кратер заповнюється рідкою киплячою лавою базальтового складу з температурою до 1200 °С. Періодично лава переливається через стінки кратера та зони тріщинуватості і стікає по схилах з середньою швидкістю 4-5 м/с, розтікаючись по навколишній місцевості. Довжина лавових потоків може досягати десятків кілометрів. Часто в умовах Ісландії та Гавайських островів, де локалізовані вулкани цього типу лавові потоки досягають океанічного узбережжя, де після різкого охолодження морською водою кристалізуються поблизу берега на дні. Виверження відбувається спокійно, майже не супроводжуючись вибухами. Інколи можуть утворюватись лавові фонтани висотою в декілька десятків метрів. Бризки від фонтануючої лави застигають, утворюючи так зване «волосся Пеле» — тонкі ниткоподібні утворення вулканічного скла. Часто виверження тривають протягом кількох діб і навіть місяців.

**Географічне поширення діючих вулканів.** Вулканічні процеси протягом четвертинного періоду відігравали суттєву роль у формуванні геологічної будови, рельєфу і клімату. Сучасні нині діючі вулкани локалізовані в межах сейсмо-активних зон на границях літосферних плит, де приурочені до наступних чотирьох основних геотектонічних структур (рис.23):



**Рис.23.** Карта географічного розташування найбільших регіональних вулканічних поясів.

1. **Навколо-Тихоокеанського вулканічного поясу (Тихоокеанський рухомий пояс)**, який локалізований у вигляді неправильного кола вздовж узбережжя Тихого океану, де задокументовано близько 340 діючих вулканів. В його межах знаходяться як згаслі вулкани неоген-четвертинного віку, які розташовані в зовнішній частині поясу, так і діючі – зосереджені у внутрішній, ближчій до океану частині.

2. **Середземноморсько-Індонезійський вулканічний пояс (Альпійсько-Гімалайський рухомий пояс)** простягається в субширотному напрямку північної півкулі, де зосереджено 117 діючих і таких, які перебувають на стадії затухання вулканів, а з урахуванням тихоокеанського відгалуження їх кількість досягає 150. Більшість вулканів цього поясу локалізується в районі островів Індонезії і на островах Середземного моря.

**3. Атлантичний вулканічний пояс (Атлантичний рифт)** характеризується субмеридіональним простяганням посередені Атлантичного океану. Тут локалізовані виключно острівні та підводні вулкани серединно-океанічного хребта. Сучасна вулканічна діяльність, за винятком Антільських острівних дуг і підводних вулканів Гвінейської затоки, не зачіпає континентів. Вулкани приурочені головним чином до Серединно-атлантичного хребта і його бічних відгалужень. о. Ісландія, може розглядатися як «продукт» розростання дна океану внаслідок вулканічної активізації рифту. Південна частина рифту відрізняється меншою тектонічною активністю, де осередками вулканізму є острови Вознесенія, Св. Олени, Трістан-да-Кунья.

**4. Східно-Африканський вулканічний пояс (Східно-Африканський рифт)** приурочений до дивергентної границі в межах Африканської плити, що розділяє дві субплити Нубійську і Сомалійську. Східно-Африканський рифт незвичайний тим, що розвивається не на океанічній корі, як більшість рифтових зон земної кулі, а на континентальній. Тут локалізована низка діючих і згаслих вулканів: Кіліманджаро, Карисимбі, Н'ярагонго, Меру, а також Кратерне нагір'я в Танзанії.

Аналіз географічного поширення вулканів показує, що вони приурочені головним чином рухомих зон земної кори. Механізм утворення магми в глибині дуже складний. Магматичні осередки виникають, як правило, локалізовано, за умови порушення термодинамічної рівноваги – при підвищенні температури або пониженні тиску, що і викликає перехід речовини з твердої фази в рідку. Такі осередки магми виникають в місцях інтенсивних тектонічних рухів, що супроводжуються утворенням нових і активацією старих глибоких розломів земної кори.

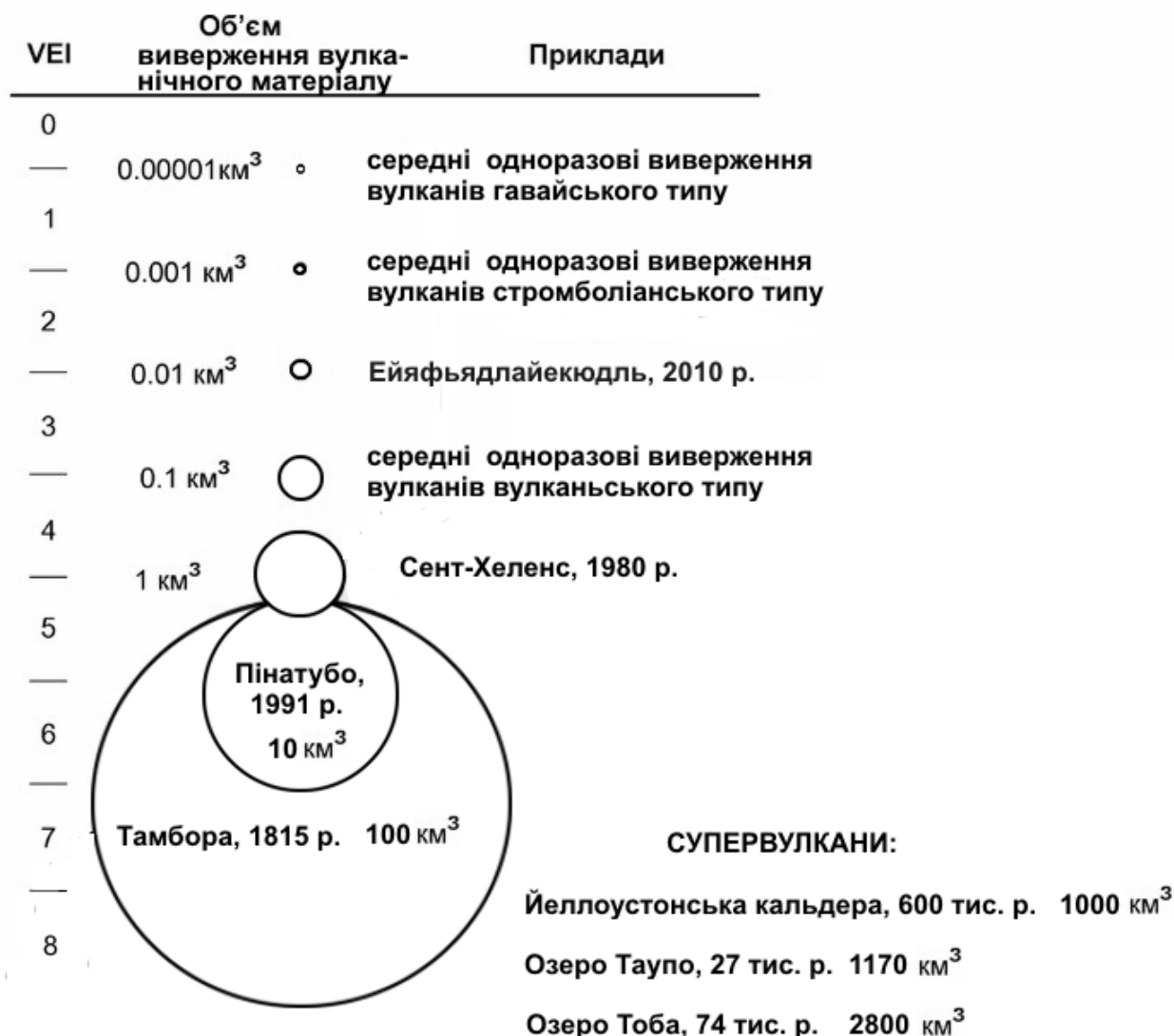
Інтенсивність вулканічних вивержень визначається за об'ємом викиду вулканічного матеріалу, що вимірюється за шкалою вулканічних вивержень – експлозивного індексу (англ. Volcanic Explosivity Index, VEI) – рис. 24.

**Оцінка екологічної безпечності території навколо діючого (згаслого) вулкану визначається за:**

- 1) аналізом типу, потужності, інтенсивності, періодичності попередніх вивержень, їх екологічних наслідків та економічних збитків;
- 2) аналізом сейсмічної активності та прогнозною оцінкою потужності потенційного виверження;
- 3) характером рельєфу території, експозиціями схилів, їх крутизною;
- 4) просторовим розташуванням морського узбережжя відносно жерла вулкану та прогнозом ймовірності виникнення цунамі зумовленого виверженням;
- 5) просторовим положенням населених пунктів, шляхів комунікації відносно жерла вулкану;
- 6) наявністю природних та штучних механічних бар'єрів на ймовірному шляху руху лави та селевих потоків.

Найчастіше виверженню передують низка сейсмічних та геохімічних подій, на підставі яких приймають рішення про евакуацію населення. Так, при підйомі магми до поверхні активізуються малофокусні підземні поштовхи та еманції ендегенних газів. Чим ближче за часом виверження, тим частішим та інтенсивнішим стає ритм цих поштовхів, іноді доходять до 100 поштовхів за годину. Іноді це помилкова тривога: сейсмічна активність може не супроводитися виверженням, і навпаки. Перед виверженням вулкан зростає на декілька сантиметрів, а деколи і на декілька метрів. Так, гора Сент-Хеленс виросла на 200 метрів перед своїм виверженням 18 травня 1980 року. Тому точне вимірювання висоти вершини, відхилення просторової локалізації схилів, розмірів тріщин у глибинних розломах є прямими ознаками ймовірної активізації вулканів. Набільш точно такі вимірювання здійснюються за допомогою моніторингу поверхні зі штучних

супутників, зокрема GPS-сканування. Нарешті, перед виверженням, у гідро спостережних свердловинах навколо вулкану змінюється не тільки хімічний склад води та газів, але і їх температура.



**Рис.24.** Шкала вулканічних вивержень – експлозивного індексу (Volcanic Explosivity Index, VEI).

За деякими, особливо небезпечними вулканами Плініанського типу, такими як Везувій, ведуться постійні спостереження. Поблизу них розташовані спеціальні вулканічні обсерваторії та системи негайного оповіщення населення про загрозу виверження.

На підставі моніторингових спостережень за діючим вулканом, будують карту небезпечних зон: на ній вказані можливі шляхи руху потоків лави, напрямки руху пилових та газових хмар, ділянки випадання вулканічних бомб та попелу, природні та техногенні об'єкти, яким загрожує небезпека. Відповідно навколо діючого (згаслого) вулкану на такій карті виділяють наступні зони:

1. дуже небезпечна зона;
2. небезпечна зона;
3. потенційно небезпечна зона;
4. безпечна зона.

**Землетруси.** Під землетрусами розуміють сейсмічні події – підземні поштовхи та коливання земної поверхні, які виникають в результаті раптового вивільнення енергії,

накопиченої в зонах впливу тектонічних розломів – стиснених або розтягнутих гірських породах. Внаслідок стиснення чи розтягу відбуваються раптових зміщення чи розриви на різних глибинах від верхньої мантії до денної поверхні, енергія яких передається на значні відстані у вигляді пружних коливань – сейсмічних хвиль. Точку в земній корі, з якої розходяться сейсмічні хвилі, називають **гіпоцентром (осередком, фокусом) землетрусу**. Точку на земній поверхні, розташована безпосередньо над осередком (ортогональну проекцію гіпоцентру) називають **епіцентром землетрусу**. В залежності від глибини локалізації гіпоцентру землетрусу поділяють на:

- 1) **глибокофокусні** – осередки землетрусів є на глибинах більше 300 км;
- 2) **проміжні** – глибина локалізації гіпоцентру від 55 до 300 км;
- 3) **Короткофокусні** – з приповерхневими осередками землетрусів на глибинах до 55 км.

Землетрус на денній поверхні Землі проявляється у вигляді:

- 1) підземних поштовхів та коливань земної поверхні;
- 2) наростання напруженості гірських порід у зонах розломів;
- 4) підвищення дегазації надр та зростання температури підземних вод;
- 5) раптовому тріщиноутворенні у ґрунтах, будинках, інженерних спорудах, їх деструкції та руйнуванні, пораненні та загибелі людей.

**Генетична класифікація землетрусів.** За походженням землетруси поділяють на чотири головні типи:

- 1) **тектонічні** – зумовлені тектонічними рухами у мантії чи земній корі;
- 2) **вулканічні** – зумовлені вулканічними виверженнями;
- 3) **метеоритно-астроблемні** – зумовлені падінням на земну поверхню крупних метеоритів чи інших небесних тіл;
- 4) **техногенні** – зумовлені впливом людини на геологічне середовище у вигляді підземних ядерних вибухів, напружень та деформацій спричинених закачуванням або вилученням з надр значної кількості води, нафти або газу, створенням крупних водосховищ, які своєю вагою тиснуть на надра, підробкою земної поверхні гірничими виробками та їх обвалами.

Останні три типи трапляються дуже рідко. Найбільш поширеними є тектонічні землетруси, причини утворення яких розглянемо більш детально. Виникнення вогнищ тектонічних землетрусів з позицій сучасої тектоніки пояснюється постійним конвективним рухом речовини та тепла у мантії, який обумовлює рух, переміщення та ковзання літосферних плит по пластичній частково розплавленого астеносферного шару у верхній мантії. Такий рух літосферних плит призводить до того, що материки дрейфують – рухаючись або назустріч одна одній (зони субукції та зони колізії) або розходяться (зони спредінгу (рифтові зони)) у протилежних напрямках. Напруга у надрах росте до тих пір, поки не перевищить міцності порід. Коли міцність гірських порід є меншою, то вони руйнуються і різко зміщуються. Вертикальні переміщення приводять до різкого опускання або підняття сусідніх масивів гірських порід, а горизонтальні – до їх зміщення. Звичайно переміщення складає лише кілька сантиметрів, але енергія, що виділяється при переміщенні мільярдів тонн породи навіть на малу відстань, величезна. Накопичена напруга в місці переміщення знімається поширенням у різні напрямки пружних коливань – сейсмічних хвиль. Час вивільнення енергії та поширення сейсмічних хвиль становить від кількох десятків секунд до кількох хвилин. Так, наприклад, землетрус 1906 р. в Сан-Франциско тривав близько 40 секунд, а тривалість одного з найпотужніших землетрусів в історії сейсмічних спостережень на Алясці у 1964 р. була більше 3 хвилин.

Щорічно сейсмологи всього світу фіксують близько 300 тис. землетрусів, з яких лише 100 відносяться до руйнівних, тобто таких при яких фіксуються значні руйнування інженерних споруд та загибель людей.

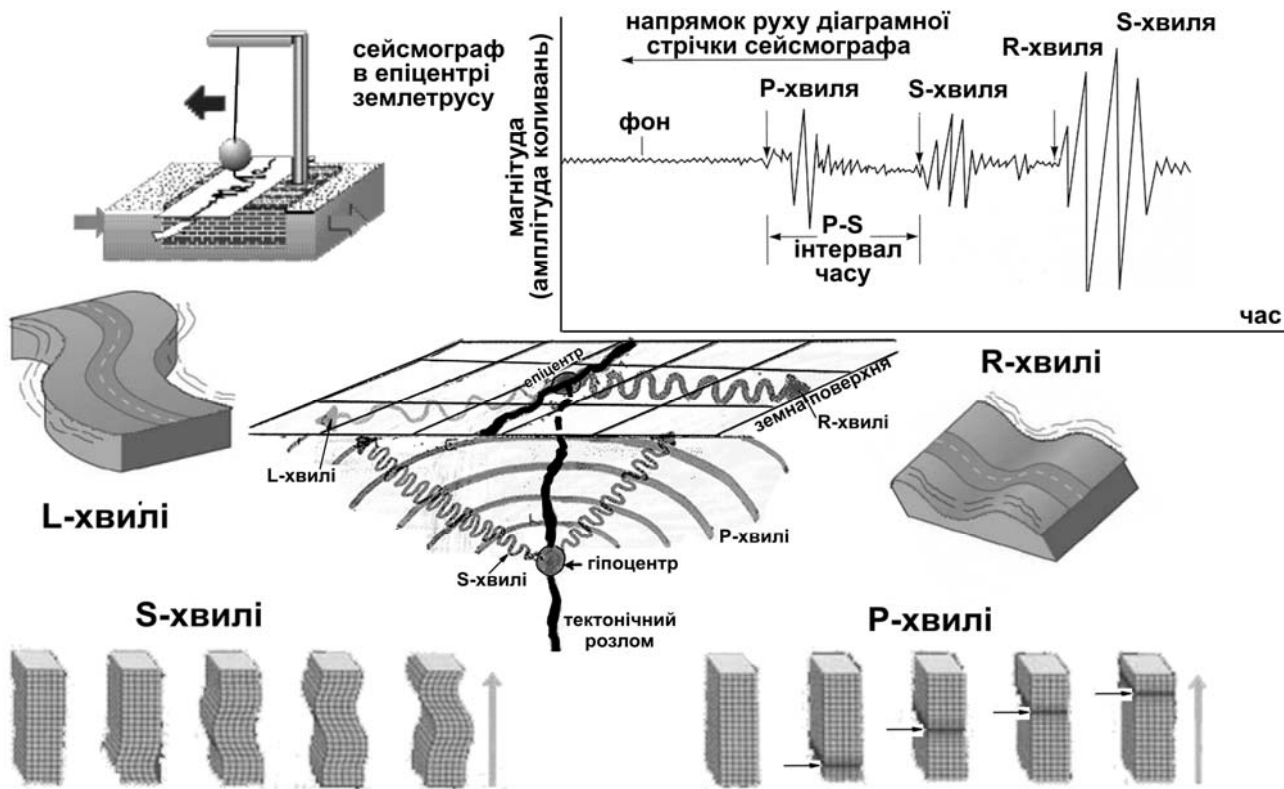
**Сейсмічні хвилі.** При землетрусі у його осередку блоки гірських порід раптово зміщуються від свого первинного положення, штовхають та коливають сусідні масиви. Коливання які при цьому виникають поширюються у вигляді акустичних хвиль. Акустичні хвилі, які згенеровані землетрусом та зафіксовані сейсмографами називають сейсмічними. В залежності від часу фіксації, швидкості та умов поширення виділяють два типи об'ємних сейсмічних хвиль та два типи поверхневих сейсмічних хвиль, які утворюються при взаємодії об'ємних хвиль з денною поверхнею:

1) повздовжні об'ємні хвилі стиснення – первинні (Primary) P-Хвилі, які характеризуються прямолінійним поширенням та першими фіксуються на сейсмограмах від часу сейсмічної події і проходять крізь будь-яке середовище;

2) поперечні об'ємні хвилі зсуву – вторинні (Secondary) S-хвилі, які фіксуються другими від моменту сейсмічної події та проникають лише через пружні породи і не поширюються у рідких середовищах (воді, магмі). Вивчаючи поширення S-хвиль англійський сейсмолог Олдгем, довів існування рідкого зовнішнього ядра Землі, крізь яке вони не проходять.

3) поверхневі хвилі Релея (Rayleigh) R-хвилі, які утворюються при взаємодії первинних об'ємних хвиль стиснення з денною поверхнею та характеризуються вертикально-синусоїдальним поширенням від епіцентру по поверхні подібно до морських хвиль.

4) поверхневі хвилі Лява (Love) – L-хвилі, які утворюються при взаємодії вторинних об'ємних хвиль зсуву з денною поверхнею та характеризуються горизонтально-синусоїдальним поширенням від епіцентру і є найповільнішими (рис.25).



**Рис.25.** Характер поширення об'ємних та поверхневих сейсмічних хвиль від гіпоцентру і епіцентру землетрусу та їх фіксація сейсмографом

**Загальна енергія та магнітуда землетрусів.** Під загальною енергією землетрусів розуміють потенційну енергію геологічного середовища, яка при землетрусі йде на руйнування гірських порід, їх тертя при переміщенні та утворення сейсмічних хвиль (певної магнітуди). Під магнітудою землетрусу розуміють умовну безрозмірну величину, що характеризує загальну енергію пружних коливань, викликаних землетрусом. Її відносну енергетичну характеристику, що визначається як логарифм відношення максимальних амплітуд хвиль даного землетрусу до амплітуд таких же хвиль певного стандартного землетрусу. За шкалою Ріхтера магнітуда найменшого поштовху, зареєстрованого чутливим сейсмографом в епіцентрі рівна 0, магнітуда 5 характеризує землетрус із незначними руйнуваннями, магнітуда 7 вказує на сильний землетрус; 8,5-8,9 – найсильніші із зареєстрованих землетрусів. Теоретично магнітуда не має верхньої межі, а енергія землетрусу може бути скільки завгодно великою. Проте землетруси, які до сьогодні спостерігалися, мали магнітуду не більше 8,9 (Чилійський землетрус 1960 р.). Існують відмінності у визначенні магнітуд для короткофокусних, проміжних і глибокофокусних землетрусів та для різних типів хвиль, такі як локальна магнітуда ( $M_L$ ), моментна магнітуда ( $M_w$ ), магнітуда об'ємних хвиль ( $M_b$ ); магнітуда поверхневих хвиль ( $M_s$ ).

Проведення прямого зв'язку між магнітудою і загальною енергією землетрусу не завжди є коректним, оскільки землетруси з однаковою магнітудою можуть викликати різні руйнування на поверхні залежно від глибини вогнища. В той же час за Гутенбергом та Ріхтером магнітуда  $M$  тісно пов'язана із загальною енергією землетрусу  $E$  емпіричним співвідношенням

$$\lg E = 2,4 + 2,14M - 0,05M^2.$$

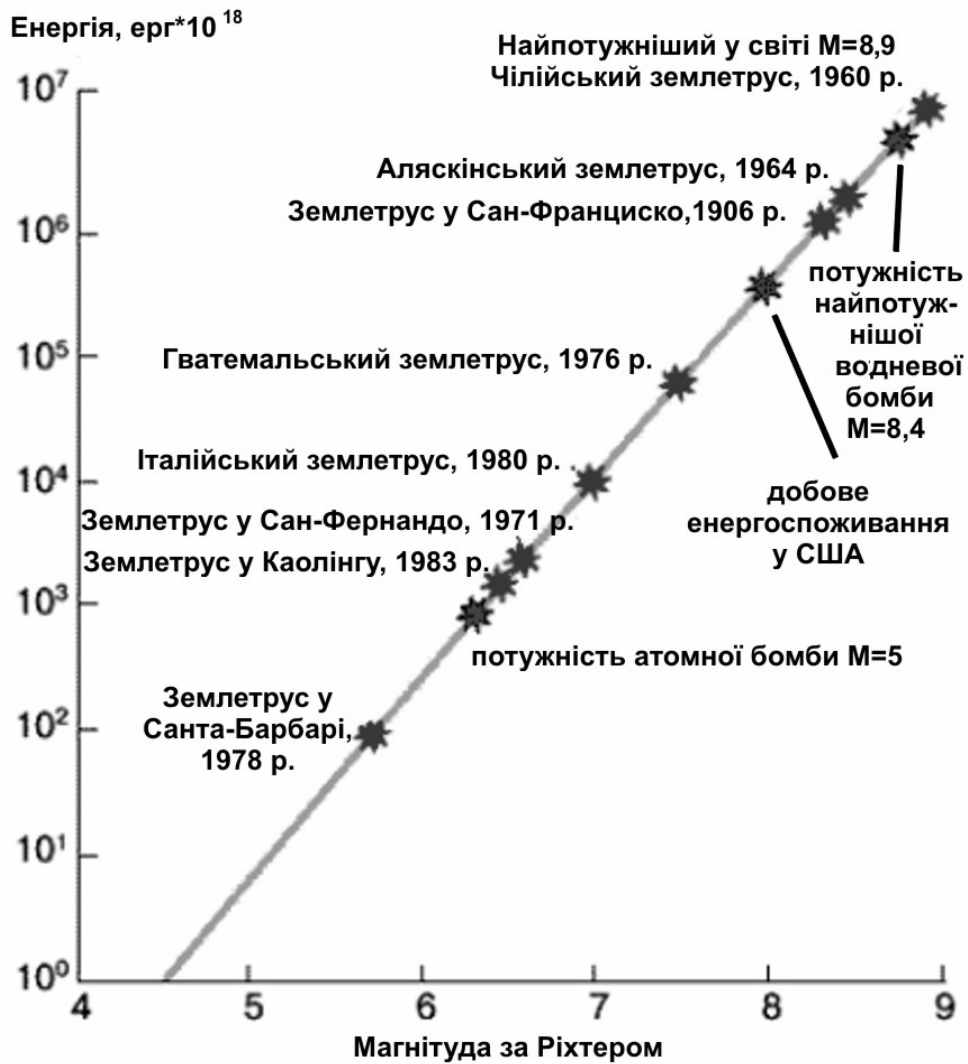
Із цього співвідношення випливає, що збільшення магнітуди на одиницю означає збільшення загальної енергії землетрусу у 30 разів і ця залежність має лінійний характер (рис.26).

**Географічне поширення зон підвищеної сейсмічності.** Тектонічні та вулканічні землетруси приурочені до зон підвищеної сейсмічності, які приурочені до границь літосферних плит – рифтових зон, зон субдукції та колізії плит: Тихоокеанського, Альпійсько-Гімалайського, Монголо-Охотського, Карибського рухомих поясів, рифтів Атлантичного та Індійського океанів, Червоного моря, Аденської затоки, Східної Африки та ряду інших геотектонічних структур (рис.27).

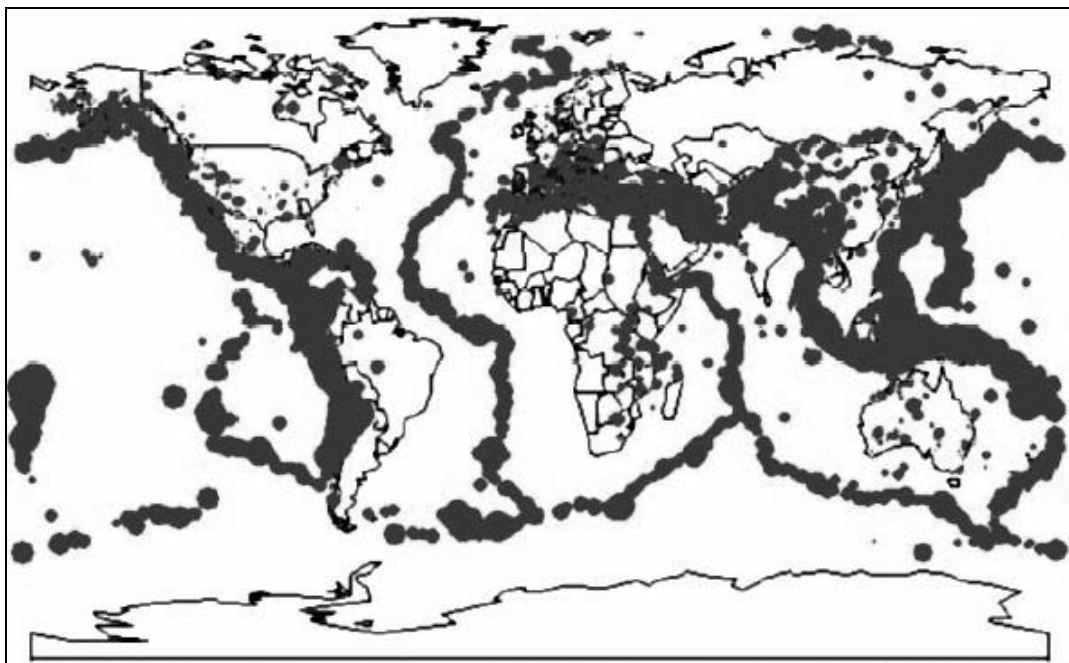
**Найбільш потужні та руйнівні землетруси.** Серед найбільш потужних та руйнівних землетрусів зі значною кількістю жертв в останні 500 років належать:

1. Землетрус з магнітудою 8,0, що стався 23 січня 1556 року у Китаї, з епіцентром в провінції Сіань. Тут о 5 годині ранку, коли більшість людей ще знаходилася вдома підземні поштовхи зруйнували їхні помешкання у лесевих товщах. Саме цим пов'язано величезна кількість жертв – біля 830 тисяч загиблих – найбільше за усю історію.

2. Землетрус з магнітудою 8,6, що стався 1 листопада 1755 року у м.Лісабон (Португалія). Катастрофа мала місце о 9 годині ранку, коли пролунав звук, схожий на підземний грім. З ним співпав перший з трьох головних поштовхів, який продовжувався трохи більше шести хвилин. Кам'яну набережну поглинула тріщина. Місто перетворилося у суцільні руїни, у яких загинуло 70 тисяч осіб.



**Рис.26.** Лінійна залежність між загальною енергією землетрусу та його магнітудою за шкалою Ріхтера на прикладі найбільш потужних зареєстрованих землетрусів.



**Рис.27.** Географічне поширення зон підвищеної сейсмічності.



3. Землетрус з магнітудою 8,7, що стався 21 червня 1897 р. в Індії, на північ від Калькути, який за площею території (350 тисяч кв.км – половина України) перевершує всі відомі людству. На площі 74 тисяч кв.км (1/8 частина України) були зруйновані всі кам'яні споруди. Амплітуда коливань ґрунту досягала 30 см – подібно до морських хвиль, що спостерігалось на площі в 23 тис. кв. км, де повністю змінені попередні рельєф та ландшафт. За цими параметрами цей землетрус, є найпотужнішим за всю історію людства. Число загиблих 1500 чоловік.

4. Землетрус з магнітудою 8,3, що стався 1 вересня 1923 року у Японії з епіцентром біля міст Токіо і Йокогама, коли в заливі Саґмі на ділянці площею 150 км<sup>2</sup> одна частина дна піднялась на висоту 200-250 м, а інша занурилась на глибину 150-200 м. Внаслідок цієї події найпотужніший удар за декілька секунд зруйнував більше 254 тисяч будинків. Інше довершили пожежі, знищуючі дерев'яні будівлі. Більше половини Токіо і практично вся Йокогама були спалені дотла. Число загиблих 143 тисяч чоловік, без житла залишилось 3,5 млн. людей. Щорічно 1 вересня в день "Великого землетрусу" по всій Японії, проводяться тренінги з виживання в умовах стихії.

5. Землетрус з магнітудою 7,3, що стався 6 жовтня 1948 р. у Туркменії в 25 км від Ашхабаду. Землетрус був не дуже сильним, але короткофокусним, що в умовах відсутності сейсмостійкої забудови призвело до загибелі 110 тис. осіб.

6. Землетрус з магнітудою 8,9, що стався 22 травня 1960 року на півночі Чілі вважається найпотужнішим у світі за усю історію спостережень. Підземна стихія величезної сили зруйнувала місто Консепсьон, а також крупні промислові центри – Пуерто-Монт, Валдівія, Осорно. Без даху над головою залишилося декілька мільйонів чилійців. Загинуло понад 2 тис. 200 чоловік.

7. Землетрус з магнітудою 8,5, що стався 27 березня 1964 року на Алясці, між містами Анкорідж і Валдіз вважається другим за потужністю після Чілійського землетрусу 1960 р. Катастрофічні руйнування охопили площу більше 65 тис. кв.км. Якби він стався у більш густозаселеному регіоні, то призвів би таких жертв яких ще не було за жодних стихійних лих за усі часи. В умовах малозаселеності Аляски кількість загиблих склала 131 людину.

8. Землетрус з магнітудою 8,2, що стався 28 липня 1976 р. у Китаї з епіцентром у м.Таншан з населенням 1,5 мільйона чоловік. Масштаб руйнувань та кількість жертв безпрецедентні: житлові та промислові будівлі перетворилися на купу уламків, обвалились мости, викривились залізничні колії, перевернулись потяги, пошкоджені автомагістралі, розірвані трубопроводи, зруйновані дамби, усе місто практично порівнялося із землею. Число загиблих перевищило 650 тис. осіб.

9. Два землетруси з магнітудами 7,8 та 5,8, що сталися 12 та 13 травня 2008 року у Китаї, в провінції Сичуань. Число жертв землетрусів склало більше 69 тис. осіб, поранення отримали понад 370 тис. людей. Більше 17 тис. осіб вважаються зниклими без вісті.

**Передвісники землетрусів та їх прогноз.** Передбачення землетрусу, тобто точне визначення часу, місця, магнітуди майбутніх сейсмічних подій, дозволило б вчасно попередити людей про небезпеку, підготувати до сейсмічного впливу особливо небезпечні об'єкти, провести евакуацію, зменшити число жертв та матеріальні збитки. На жаль, сучасний рівень розвитку сейсмології не дозволяє вирішити проблему точного короткострокового прогнозу землетрусів, аналогічно до прогнозування погоди. Прогноз землетрусів – проблема, над якою працюють тисячі науковців в різних країнах. Є звичайно окремі вдалі прогнози, однак надзвичайно

багато помилкових. На жаль, сучасний рівень розвитку науки не дозволяє на 100% спрогнозувати місце і час руйнівного землетрусу.

На сьогодні наукові дослідження направлені насамперед на пошуки точних передвісників землетрусів – сейсмічних, геохімічних, біологічних ознак, які передують сейсмічним подіям. На підставі тривалих спостережень встановлено, що перед руйнівним землетрусом змінюються властивості гірських порід, хімічний склад та температура підземних вод, порушується електрична провідність ґрунтів, швидкість розповсюдження сейсмічних хвиль, неадекватно себе ведуть деякі живі істоти та ін. Одні передвісники землетрусів вказують про майбутні сейсмічні події за кілька місяців чи навіть років до початку землетрусу, інші – за кілька днів і навіть годин. До короткострокових передвісників відносяться зміни рівня і хімічного складу підземних вод, порушення напруженості електричного поля в атмосфері. Перед сильними землетрусами змінюється сейсмічний фон, тобто частота і розподіл за площею слабих підземних поштовхів, на сейсмограмах за кілька десятків хвилин до основного поштовху з'являються так звані фаршоки. Нагромаджені механічні напруги змінюють електричне і магнітне поля. Ці поля ймовірно впливають на неадекватну поведінку деяких видів риб, що вистрибують з акваріумів, птахів, які покидають місця гніздування, ссавців, що подають сигнали тривоги.

**Шляхи забезпечення екологічної безпеки.** Оскільки прогноз землетрусів недостатньо точний та дозволяє лише припустити, де слід чекати крупний землетрус, і з деякою вірогідністю визначити термін, коли відбудеться сейсмічна подія, тому для мінімізації кількості жертв та розмірів ймовірних матеріальних збитків, вкрай важливим є вжиття заходів, які б підвищували рівень екологічної безпеки. До таких заходів відносяться:

1. складання карт сейсмічності та визначення сейсмонебезпечних регіонів.
2. вибір ділянок забудови населених пунктів та промислових об'єктів з урахуванням геологічних даних – подалі від ймовірних чи встановлених розривних порушень, стрімких схилів, які при руйнівному землетрусі можуть загрожувати обвалами та зсувами.
3. уникнення проектування та зведення екологічно-небезпечних об'єктів у явно сейсмонебезпечних регіонах (атомних електростанцій, хімічних виробництв і т.п.), а при їх будівництві – необхідність забезпечення найвищої надійності та кількісного захисту, виходячи з принципу, що абсолютно антисейсмічних споруд не існує.
4. сейсмостійке будівництво житлових і промислових будівель чи їх антисейсмічне посилення у випадку зведення за традиційними технологіями.
5. будівництво магістральних трубопроводів та міських комунікацій, із облаштуванням сейсмічних заглушок, які спрацьовують по автоматичній команді від найближчого сейсмографа у випадку руйнівного землетрусу.
6. тренінги, система оповіщення населення та організована евакуація людей у випадку прояву руйнівного землетрусу.

**Моретруси та цунамі.** Під моретрусом розуміють явище коливань товщі морської води зумовлене тектонічними зміщеннями (землетрусом) на дні моря чи океану певної магнітуди. Моретруси з магнітудою до 6.0 відбуваються майже непомітно, а більш потужні є причиною цунамі, коли при підході хвиль викликаних сейсмічними коливаннями на мілини та до берега відбувається різке зростання висоти хвиль до 5-50 м та їх рух у глиб узбережжя (з японської "цу", – гавань, "намі" – велика хвиля). Тиск сейсмічної хвилі під час моретрусу з магнітудою понад 6,0,

призводить до генерування хвиль висотою 0,3-0,6 м та довжиною до 500 км. Судна в епіцентрі моретрусу, відчувають хвилі усім корпусом. Від епіцентру хвиля рухається в усі сторони зі швидкістю до 800 км/годину. На мілководді швидкість хвилі за рахунок тертя зменшується, але різко збільшується її висота. Стіна води висотою в 5-50 м і більш обрушується на берег. При моретрусах виникає від 3 до 7 хвиль цунамі, з них найбільш руйнівною силою володіють друга і третя хвилі. Ці хвилі викидають на берег величезні судна, морську флору і фауну, руйнують прибережну інфраструктуру (будинки, дороги, пляжі, місця відпочинку і т.п.), зумовлюють чисельні жертви серед населення. Так моретрус з магнітудою 8,8, який стався 26 грудня 2004 року біля о.Суматра (Індонезія) ініціював виникнення приливної хвилі, яка при досягненні узбережжя Індонезії, Шрі-Ланки, Індії, Таїланду, Малайзії, Сомалі, Кенії зумовила виникнення на цих теренах цунамі з висотою хвилі понад 10 м та загибель понад 100 тис. осіб.

Схема виникнення моретрусу та цунамі показана на рис.28.



**Рис.28.** Схема виникнення моретрусу та цунамі.

За останні 2500 років лише в Тихому океані зареєстровано 308 цунамі, де гігантські хвилі у різний час спустошували узбережжя Північної та Південної Америки, Гавайських островів, Японії та інших країн. Відомі випадки цунамі в Атлантичному, Індійському океанах, Середземному та Чорному морях. Цунамі викликані потужними моретрусами зумовлюють велику кількість жертв, значні руйнування та матеріальні збитки у прибережній зоні, спричиняють забруднення води і ґрунтів, створюють загрози спалаху інфекційних захворювань та біологічному різномаяттю акваторії при викиді на берег крупних ссавців (киті, дельфінів).

**Стадії розвитку цунамі.** При наближенні хвиль моретрусу до узбережжя спостерігається п'ять стадій розвитку цунамі:

- 1 стадія – короткочасний відступ моря та спостереження на горизонті акваторії високої хвилі;
- 2 стадія – прискорене наближення хвилі до берега та зростання її висоти;
- 3 стадія – різке зростання висоти хвилі перед узбережжям, прискорене просування хвилі на берег із гідродинамічним руйнуванням інженерних споруд;
- 4 стадія – відступ водних потоків назад у море у вигляді селевих потоків;
- 5 стадія – осадження твердого стоку та відновлення звичного рівня океану;

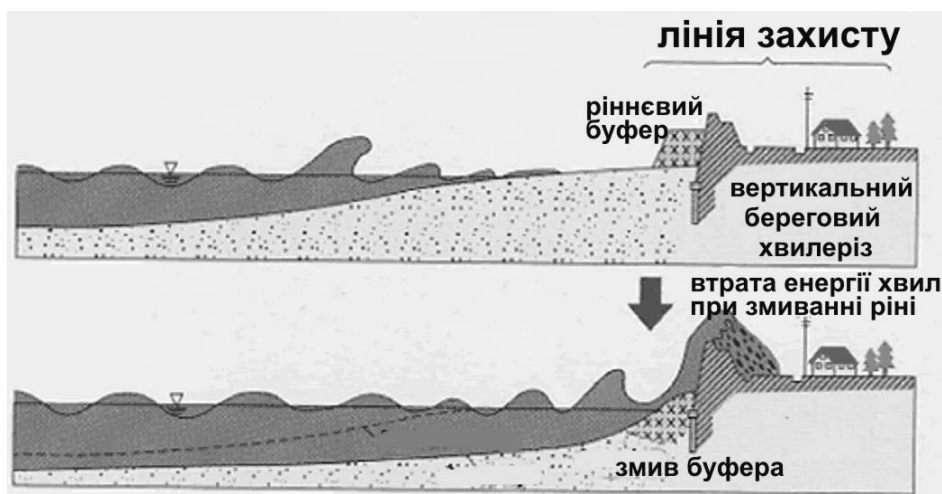
**Шляхи забезпечення екологічної безпеки.** На відміну від землетрусів, які на

сьогодні не можливо передбачити, між потужним моретрусом та ймовірним цунамі, за рахунок сповільнено руху хвилі на рівні 700-800 км/год, в залежності від віддалі від епіцентру до узбережжя є достатньо тривалий часовий лаг тривалістю від десятка хвилин до кількох годин. Це дозволяє в умовах сучасного рівня техніки та інформаційних технологій, завчасно попередити населення та відповідні служби про наближення небезпеки, провести термінову евакуацію та мінімізувати збитки. Так у Тихоокеанського регіону створена та діє «Служба виявлення і сповіщення цунамі» із центром на Гавайських островах до Гонолулу та станціями оповіщення на Алясці, Алеутських, Курильських островах, узбережжі майже в усіх прибережних країн Тихого океану. Алгоритм оповіщення населення з метою мінімізації негативного впливу цунамі із застосуванням сучасних технологій показаний на рис.29.



**Рис.29.** Алгоритм оповіщення населення з метою мінімізації негативного впливу цунамі із застосуванням сучасних технологій.

Крім інформаційного оповіщення про ймовірне цунамі до заходів забезпечення екологічної безпеки належить ще два способи. Це моніторинг воднотеплового режиму тектонічних розломів, при якому зміна хімічного складу чи температури вказує на високу ймовірність моретрусу та інженерний захист поселень на узбережжі за допомогою буберів та хвилерізів (рис.30).



**Рис.30.** Приклад інженерного захисту поселелень на узбережжі від цунамі.

## РОЗДІЛ VII. ХІМІЧНИЙ СКЛАД ПРИРОДНИХ ВОД. ЗАБРУДНЕННЯ ВОД: ПРИЧИНИ ТА НАСЛІДКИ, ДЖЕРЕЛА, ШЛЯХИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

**Значення води для довкілля та людини.** Найявність чи відсутність води на інших планетах є першою необхідною передумовою можливості існування життя на н х. Адже без води неможливим було б саме існування як живих істот загалом так і людини зокрема. Організм медуз складається на 97 мас.% з води, риб – на 80 мас.%, тварин на 55-70 мас.%, рослин на 50-99 мас.%. Ембріон людини на 97 %, немовля – на 77 %, доросла людина – на 60 мас.% складається з води. Втрата 6-8 % води викликає погане самопочуття 10 % – незворотні зміни в організмі, а 15-20 % – смерть. Для підтримки фізіологічних процесів життєдіяльності організму потрібно: 2-2,5 літра на добу. За життя людини через нирки з організму вилучається близько 75 тонн води. Проте це лише мала частина від того, скільки людина витрачає насправді. За розрахунками американських вчених, структура споживання води середньостатистичним мешканцем міста виглядає так: пиття та приготування їжі – 5 %; злив через змивний бак у туалеті – 43 %; ванна та душ – 34 %; миття посуду – 6 %; прання – 4%; прибирання приміщення – 3 %; інші потреби – 5 %. Щоденні потреби однієї людини у воді у сільській місцевості становлять 30-50 л/добу, а в містах – 90 – 225 л/добу.

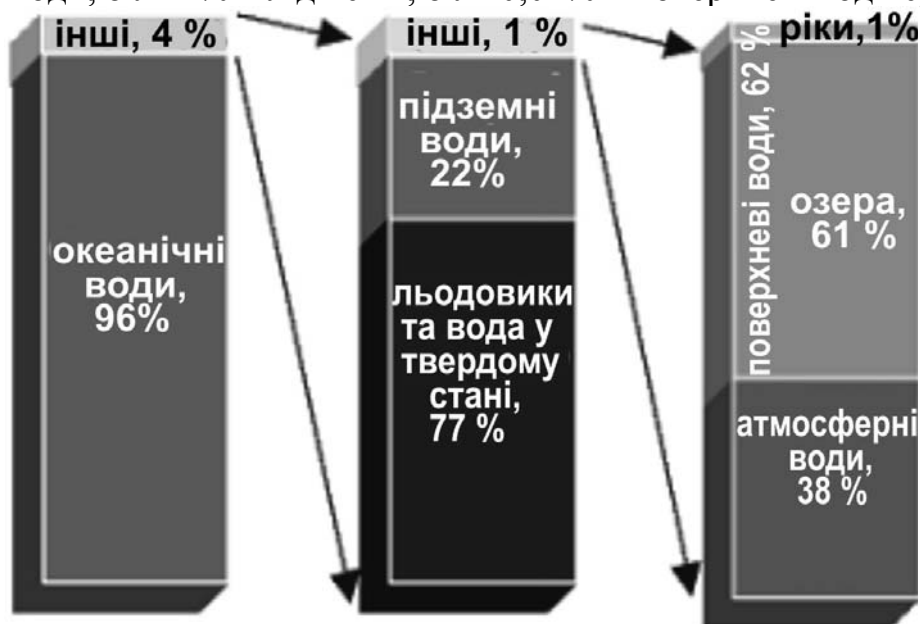
Крім побутових потреб деже мало технологічних процесів відбуваються без використання води. Так для виготовлення 1 т штучного волокна – 1000 т води; 1 т паперу – від 400 до 800 т, 1 т цукру – 100 т, 1 т сірчаної кислоти – 10 т, Без води як робочого тіла чи холодоагента не обходяться парові турбіни, паро-вакуумні холодильні машини, гідромонітори. Без води неможливе забезпечення продовольчої безпеки регіонів з посушливим кліматом. Так на полив земель у Індії використовується 97% усіх витрат води. Суттєвими є її витрати у тваринництві. На утримання голови великої рогатої худоби щодобово потрібно 60, свині – 20, вівці – 6 літрів води. Сучасна економіка лише України характеризується кількох десятків кубічних кілометрів прісної води, у якій найбільшими водоспоживачами є промисловість – 46%, сільське господарство – 43%. та комунальне господарство – 11%.

Широке застосування води у сучасних умовах призвело до її дефіциту у цілій низці регіонів. З 1970 р. світовий показник забезпеченості водою тобто кількість води, що припадає на душу населення зменшився на третину. Вважають, що якщо показник забезпеченості територій опуститься нижче рівня 1000 м<sup>3</sup>/особу на рік, то починає відчуватися нестача води, що є суттєвою перешкодою для задовільнення потреб у продуктах харчування, економічного розвитку та збереження екосистем.

Проблема забезпечення людей якісною питною водою є однією з найактуальніших, у цілій низці країн та створює загрози їх як екологічній так і національній безпеці. Адже понад 1 млрд. людей на нашій планеті не має доступу до чистої води. Дефіцит води часто був першопричиною соціальних конфліктів і міждержавних воєн, а нерідко й одним із засобів їх ведення такі як позбавлення води оточених міст чи отруєння джерел водопостачання.

**Розподіл води у гідросфері Землі.** Вода в атмосфері, підземні та поверхневі води в рідкому, твердому і газоподібному станах, утворюють водну оболонку Землі – гідросферу. Понад 96% об'єму гідросфери складають моря і океани, біля

2% – підземні води, біля 2% – лід і сніг, біля 0,02% – поверхневі води суші (рис.31).



**Рис.31.** Розподіл води у гідросфері Землі

Запаси води на Землі складають 1 млрд 454 млн км<sup>3</sup> з них на поверхні Землі 1,39х10<sup>18</sup> т води, а в атмосфері 1,3х10<sup>13</sup> т водяної пари. З умієї маси води менше 2% відноситься до прісних вод, а доступні для використання 0,3 %. Основна маса прісної води недоступна людині, бо міститься в льодовиках.

Найбільший об'єм на землі складають **океанічні води** – близько 1 млрд 370 млн км<sup>3</sup>. Ці води локалізовані у Світовому океані та гідравлічно зв'язаних з ним такими водними об'єктами як протоки, затоки та моря. Останні називають **морськими водами**.

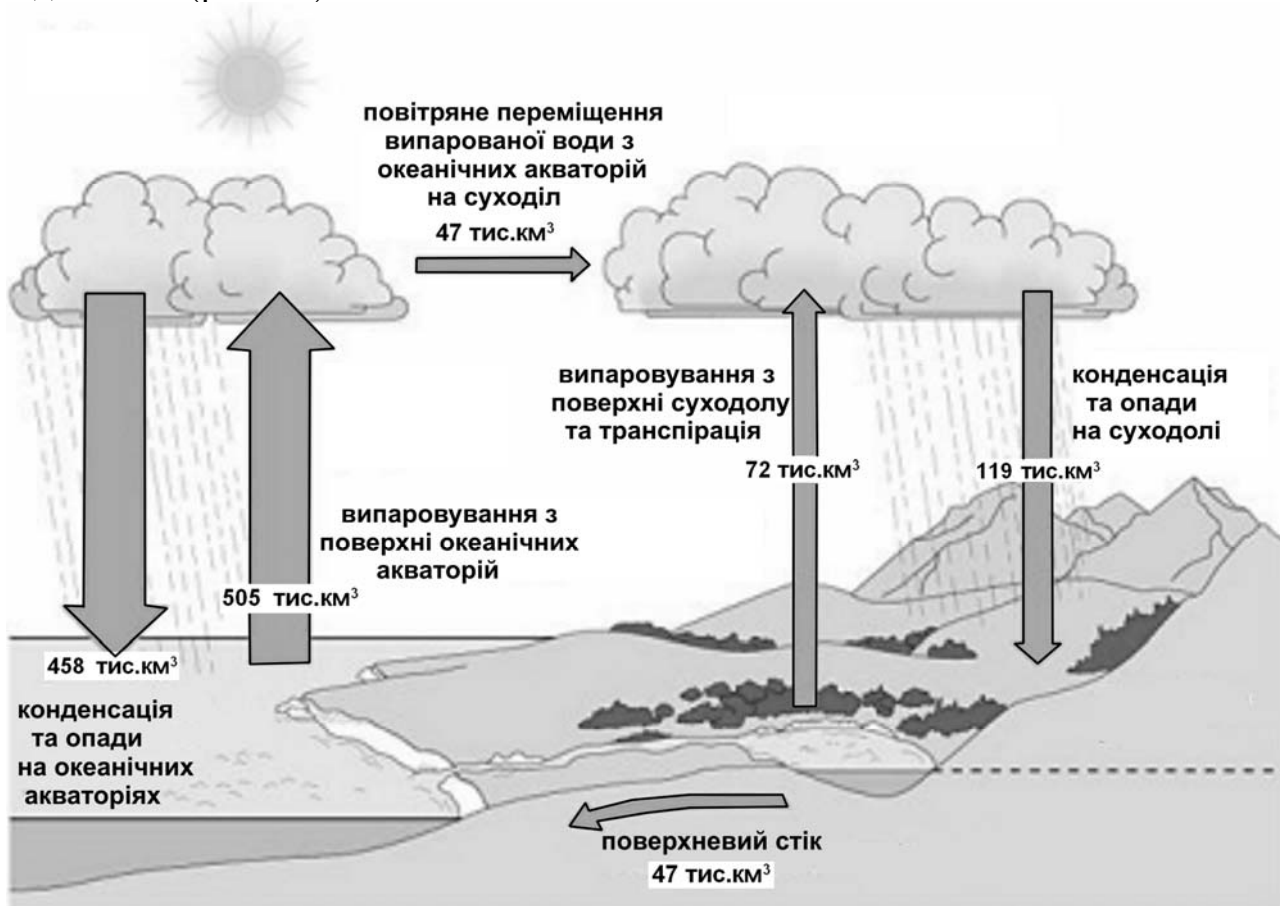
Під **підземними водами** розуміють води, що знаходяться в товщах гірських порід літосфери. Під **поверхневими водами** розуміють частину гідросфери, що локалізована на денній поверхні суходолу – річках, озерах, болотах. Вода з поверхні суходолу випаровується (20-50%), інфільтрується у підземні води (15-50 %) та стікає з поверхневим стоком (10-50%) у вигляді річок до Світового океану. Величина поверхневого стоку поверхневих вод залежить від кількості атмосферних опадів, величини випаровування, розчленованості рельєфу, фільтраційних властивостей гірських порід, характеру рослинності тощо.

**Гідрологічні об'єкти, режими та процеси.** Під **гідрологічним (водним) об'єктом** розуміють водойми та просторово обмежені скупчення водних мас в межах суходолу, сформованих природою або створених штучно, у яких вода стікає потоками, заповнює пониження рельєфу, формує перезволожені ландшафти (річки, потічки, канали, озера, водосховища, ставки, болота та ін.).

Під **гідрологічним режимом** розуміють закономірні зміни стану водного об'єкту в часі і просторі, обумовлені головним чином кліматичними особливостями – рівнів та витрат води, появи криги та її скресання, температури води, кількості і складу твердого стоку, складу і концентрації розчинених речовин і т.п., які у сучасних умовах суттєво змінені антропогенним впливом. Під **гідрологічним процесом** розуміють елементарну складову частину гідрологічного режиму, тобто результат, тривалої у часі взаємодії води водного об'єкту з середовищем. Прикладами гідрологічних процесів є русловий, устьовий, береговий, замерзання, скресання криги, випаровування, всихання та ін.

**Колообіг води у доквіллі та її хімічний склад.** Під впливом теплової енергії Сонця в умовах планети Земля, відбувається колообіг води у доквіллі, який починається з випаровування води з поверхні океанічних акваторій та суходолу, продовжується при переміщенні водяної пари в атмосферному повітрі, конденсації та випаданні опадів, інфільтрації у ґрунті і підземні води, а завершується дренаванням суходолу та поверхневим стоком. Колообіг води у доквіллі забезпечує постійний глобальний водообмін між атмосферою, гідросферою, біосферою та літосферою.

Щороку з поверхні океану, біля 505 тис.км<sup>3</sup> води, з яких 458 тис.км<sup>3</sup> випадає назад в океан, а різниця в 47 тис.км<sup>3</sup> переноситься над суходіл у вигляді водяної пари. Крім того, з поверхні суходолу випаровується та транспірується 72 тис.км<sup>3</sup> води, яка разом з перенесеною з океану конденсується та випадає у вигляді опадів на суходолі об'ємом 119 тис. км<sup>3</sup>. 47 тис.км<sup>3</sup> води стікає із поверхневим стоком назад в океан (рис. 32).



**Рис.32.** Принципова схема та середньорічний баланс глобального колообігу води на планеті Земля.

У приведеній середньорічний баланс глобального колообігу води на планеті Земля не включені об'єми інфільтрації води у ґрунти та гірські породи, а також їхнє дренавання. За різними оцінками в атмосфері постійно знаходиться 12,9 тис.км<sup>3</sup> води, ріки і озера вміщують 2,1 тис.км<sup>3</sup>, континентальні льодовики – понад 24 млн.км<sup>3</sup> води, підземний лід зони багаторічної мерзлоти – 300 тис. км<sup>3</sup>.

Океанічна вода характеризується сталістю хімічного складу із середньою мінералізацією 35 г/л, вмістом іонів хлору 19,34 г/л, натрію 10,75 г/л, сульфату 2,7 г/л, магнію 1,3 г/л, кальцію 0,41 г/л, калію 0,39 г/л, гідрокарбонату – 0,14 г/л, бромю 0,06 г/л, інших менше 0,05 г/л. У морях, в залежності від ступеня їх ізольованості від

океану, припливу слабкомінералізованих поверхневих вод суходолу кліматичних умов, мінералізація коливається від 2 г/л у Ботнічній затоці Балтійського моря, до 42 г/л у Червоному морі.

Хімічний склад природних вод суходолу – поверхневих та підземних у зоні активного водообміну, на відміну від океанічних та морських вод характеризується значною мінливістю як за мінералізацією (від ультрапрісних до ропи), так і за гідрохімічним складом. Так води гірських річок в умовах тривалого періоду дощів часто мають мінералізацію менше 0,2 г/л, а ізольовані солоні озера в умовах сухого та жаркого клімату, такі як Мертве море мають мінералізацію на рівні 260 г/л і більше. В природних водах суходолу виявлено сотні хімічних елементів та сполук. У воді вони представлені як простими іонами, так і складними комплексами та органічними високомолекулярними дисоціатами. В аналітичних кількостях, що мають прямий вплив на оцінку якості води, у природних водах суходолу наявні 4 групи компонентів: макро- та мікрокомпоненти, специфічні та рідкісні компоненти.

До **макрокомпонентів** або головних компонентів природних вод за О.А. Альокіним належать такі аніони як гідрокарбонат-іон, сульфат-іон та хлорид-іон, а також три основні катіони: натрій-іон, кальцій-іон та магній-іон, які відповідно складають три класи природних вод: гідрокарбонатний, сульфатний та хлоридний, у кожному з яких виділяється по три групи природних вод: натрієву, кальцієву та магнієву (рис.33.).

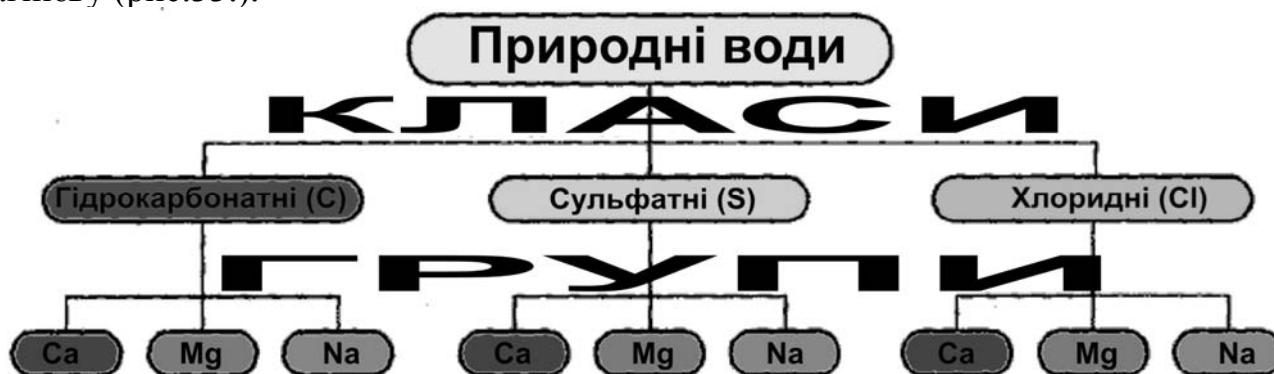


Рис.33. Класифікація природних вод за головними компонентами (по О.А. Альокіну, 1970)

Саме макрокомпоненти найчастіше визначають такі параметри якості води як загальна мінералізація та її твердість (вміст двовалентних катіонів).

До **мікрокомпонентів** природних вод відносять ті іони, які найчастіше зустрічаються у природних водах, як правило у мікрокількостях, порядку 0,01 -10 мг/дм<sup>3</sup>, і лише за певних геологічних умов та передумов техногенного впливу можуть зустрічатися і в більших кількостях. До них належать аніони нітрат-, нітрит-, фосфат-, силікат-, борат-, фтор-, бром-, йод-іонів та катіони амонійного іону, калію, мангану, заліза, літію, алюмінію, титану, стронцію, барію та низки інших елементів. Дуже часто саме наявність мікрокомпонентів у природних та техногенно-змінених водах перевищує встановлені норми та унеможлиблює їх господарське використання без очищення. Іноді мікрокомпоненти можуть складати суттєву кількість водорозчиненої речовини ґрунтів і гірських порід, та належати до головних компонентів, наприклад, амоній-, фтор-, силікат-, нітрат-іони, що визначають гідрогеохімічний тип води.

До **специфічних компонентів** природних вод відносять ті компоненти, що



трапляються в особливо малих кількостях, порядку мікрограмів у літрі води, як, наприклад, рубідій, цезій, кадмій, свинець, цинк, хром, кобальт, ртуть, арсен, ванадій, радон, уран, радій, торій та низка інших елементів. котрі з огляду на їх специфічне значення та можливий радикальний вплив на якість води виділяються окремо. В окремих випадках наявність специфічних компонентів у природних та техногенно-змінених водах фіксується перевищення встановлених нормативних концентрацій, що унеможлиблює їх використання без застосування спеціальних методів очистки.

До **рідкісних компонентів** природних вод відносять “слідові” елементи, які характеризуються низькими фоновими концентраціями у гірських породах та ґрунтах, слабкою рочинністю та хімічною інертністю по відношенню до живих істот навіть у випадках природного чи техногенного концентрування. До них належать срібло, золото, платина, паладій та ін.

**Чинники формування хімічного складу води гідрологічних об’єктів.** В умовах природного колообігу, випарована з поверхні акваторій та суходолу вода, у вигляді атмосферних опадів, взаємодіючи з повітрям, ґрунтами, гірськими породами, біотою, продуктами техногенної діяльності людини, вступає у хімічні реакції, розчиняє та вилуговує найрізноманітніші компоненти від газів до мінералів та активно змінює свій первинний хімічний склад. Виділяють три головних чинника формування хімічного складу води:

- природні джерела надходження іонів (вилуговування гірських порід та ґрунтів, надходження у воду продуктів життєдіяльності та розкладу біоти, викидів вулканічних вивержень та ін.);
- антропогенні джерела надходження іонів (стоки промислових, сільськогосподарських та комунальних підприємств, інфільтрати звалищ промислових та побутових відходів, скиди гірничо-видобувного комплексу та ін.);
- атмосферні опади (природно-дистильована вода, що наслідуює хімічний склад природних джерел та змінюється внаслідок очищення атмосферного повітря від антропогенних викидів) – рис. 34.



**Рис.34.** Чинники формування хімічного складу води гідрологічних об’єктів.

**Захищені та незахищені води у природі.** Під захищеністю природних вод розуміється наявність механічного, фізико-хімічного, геохімічного або біохімічного бар’єру між гідрологічним об’єктом чи горизонтом підземних вод та потенційним

джерелом техногенного забруднення гідросфери. Відсутність вказаних бар'єрів та наявність поблизу гідрологічного об'єкту чи горизонту підземних вод джерел техногенного забруднення гідросфери вказує на **незахищеність природних вод**.

Виходячи з цих передумов та сучасного рівня техногенного навантаження на довкілля суходолу, традиційно вважається, що підземні води є захищеними, а поверхневі – незахищеними.

Загалом усі чинники захищеності природних вод можна розділити на дві групи: природні і техногенні. До основних природних чинників відносяться:

- наявність (відсутність) слабопроникних водотривів;
- літологічний склад водоносного горизонту, його фільтраційні та сорбційні властивості;
- геоморфологічні умови зон живлення та розвантаження;
- глибина залягання горизонту підземних вод.

До техногенних чинників відносяться:

- рівень техногенного навантаження у зонах живлення водоносного горизонту;
- хімічний склад забруднюючих речовин, рівень забрудненості та геохімічний стан ландшафту;
- умови та форми знаходження забруднюючих речовин на поверхні землі, їх міграційна здатність, сорбованість, хімічна стійкість, час розпаду, характер взаємодії з породами і підземними водами, ймовірні шляхи їх проникнення до водоносного горизонту.

Захищеність підземних вод можна охарактеризувати якісно і кількісно. В першому випадку в основному розглядаються тільки природні чинники, в другому — природні і техногенні. Детальна оцінка захищеності підземних вод з урахуванням особливості перенесення вологи в зоні аерації і характеру взаємодії забруднення з породами і підземними водами вимагає, як правило, створення гідрогеохімічної моделі процесів проникнення забруднення у водоносний горизонт. Якісна оцінка захищеності може бути проведена у вигляді визначення суми умовних балів або на підставі оцінки часу, за який вода фільтрується з поверхні до рівня водоносного. В.М.Гольдбергом розроблена бальна система оцінювання захищеності ґрунтових вод, у відповідності до якої сума балів залежить від умов залягання ґрунтових вод, потужностей слабопроникних відкладів і їх літологічного складу. Наприклад, якщо ґрунтові води залягають на глибині 14 м (2 бал) у прошарку супіску потужністю 3 м (2 бал), що перекритий шаром глини потужністю 6 м (6 балів), то сума балів складе 10. По сумі балів за В.М.Гольдбергом виділяються шість категорій захищеності ґрунтових вод:

Категорія	Сума балів	Захищеність
I	<5	Не захищені
II	5 – 10	Слабо захищені
III	10 – 15	Помірно захищені
IV	15 – 20	Захищені
V	20 – 25	Добре захищені
VI	>25	Дуже добре захищені

Схильність поверхневих вод до забруднення зумовлена насамперед наявністю поблизу гідрологічних об'єктів стаціонарних джерел скидів неочищених стоків. Захищеність поверхневих вод визначається буферною ємністю природних чинників ландшафту, насамперед фільтраційними, фізико-хімічними та біогеохімічними властивостями ґрунтів і порід, які контактують з гідрологічними об'єктами. На

захищеність поверхневих вод опосередковано вказує здатність гідрологічних об'єктів до самоочищення.

**Евтрофікація, трофність та сапробність гідрологічних об'єктів.** Під **евтрофікацією** (грец.–добре живлення) гідрологічних об'єктів розуміють:

- процес погіршення якості води через надмірне надходження у них біогенних елементів, в першу чергу сполук азоту і фосфору.
- природний процес, зв'язаний з постійним зливом у водойми біогенних елементів з водозбірного басейну.
- підвищення біологічної продуктивності водойм в результаті накопичення у воді біогенних речовин під дією природних і антропогенних факторів.
- На територіях з високою густиною населення або з інтенсивним сільським господарством, інтенсивність евтрофікації зростає у сотні разів через скидання у водойми комунально-побутових стоків, стоків з ферм і підприємств харчової промисловості, а також через злив надмірно внесених добрив з полів.

Під **трофністю** гідрологічного об'єкту розуміють характеристику ступеня екологічної чистоти водойми по видовому складу і масі гідробіонтів. Залежно від ступеня чистоти (трофності) води поділяють на ультраоліготрофні, оліготрофні, мезотрофні, евтрофні, політрофні, гіперефтрофіковані.

Під **сапробністю** гідрологічного об'єкту розуміють характеристику ступеня забрудненості водойми біогенними речовинами, наслідком чого є характерний видовий склад і маса гідробіонтів. Залежно від ступеня забруднення (сапробності) води поділяють на полі-(r), мезо-(ba), оліго-(o), ксеносапробіонтні (c). З фізіологічної точки зору під сапробністю розуміють здатність організмів жити при великій концентрації органічних речовин у воді. З екологічної точки зору під сапробіонтами розуміють рослинні і тваринні організми, що мешкають у водоймах, забруднених органічними речовинами.

**Забруднення природних вод.** Під забрудненням природних вод розуміють процес зміни складу і властивостей води у гідрологічному об'єкті, внаслідок надходження до нього забруднюючих речовин, зумовленого техногенною діяльністю, що призводить до погіршення якості води. Потрібно чітко розрізняти поняття забруднюючий компонент і забруднювач (джерело забруднення). Під забруднюючим компонентом розуміють речовину чи певний параметр води, що зумовлює порушення якості води при зростанні концентрації чи показників вище гранично допустимих (ГДК). Забруднюючі компоненти поділяються на фізичні, хімічні, біологічні. Води, які були у виробничому, сільськогосподарському або побутовому використанні, а також води, які пройшли через яке-небудь забруднене середовище чи територію (зливні), і які як правило містять підвищені концентрації забруднюючих компонентів називають **стічними**. За типом забруднюючих компонентів стічні води можна розподілити на три групи:

- мінералізовані стічні води, які забруднені легкокорозивними солями та утворюються при видобутку і збагаченні корисних копалин, хімічному та нафтопереробному виробництвах;
- стічні води, забруднені переважно органічними домішками, які утворюються на підприємствах целюлозно-паперової, харчової, переробної промисловості, житлово-комунального господарства тощо);
- стічні води, забруднені мінеральними та органічними домішками (нафтопереробна, нафтодобувна, нафтохімічна, легка, харчова промисловість, органічний синтез).

До найбільш поширених забруднюючих компонентів питної води належать:

- мінералізація або загальна сума солей, зі значеннями ГДК до 1 г/л;
- амонійний та нітратний азот, зі значеннями ГДК для питних вод відповідно 1,5 мг/л та 45 мг/л;
- фосфати – ГДК до 1,0 мг/л;
- кишкова паличка: е-soli-індекс – ГДК до 3 паличок на 1 л води та е-soli-титр – ГДК не більше 300 г, де може бути не більше 1 палички;

Забруднення води може відбуватися кількома шляхами: при скиді стічних вод (зливних стоків), при проходженні води через забруднені (мінералізовані) ділянки землі (грунту), при випадінні забруднюючих речовин із атмосфери.

Головними параметрами, які впливають на характер поширення забруднюючих компонентів у воді є:

- параметри джерела скидів стічних вод;
- параметри стічних вод;
- параметри гідрологічного об'єкта та його води.

Під забруднювачем (джерелом забруднення) розуміють техногенний об'єкт, який вносить у поверхневі або підземні води забруднюючі речовини, мікроорганізми чи тепло. Усі забруднювачі, як об'єкти, що вносять у водне середовище забруднюючі компоненти, можна поділити умовно на такі види: промислові, агропромислові, соціально-побутові (антропогенні) та природні.

Антропогенні джерела скидів стічних вод, що забруднюють водне середовище, розрізняють за їх типами: стаціонарні і нестаціонарні, організовані і неорганізовані, постійні і сезонні. Найбільшими стаціонарними забруднювачами гідрологічних об'єктів є підприємства:

- житлово-комунального господарства (40 % від загального об'ємів скидів);
- металургійної, вугільної, нафтохімічної промисловості;
- паливно-енергетичного комплексу;
- агро-промислового комплексу.

Щодо останнього, то слід зазначити, що екстенсивне використання мінеральних добрив у сільському господарстві та недотримання норм санітарної охорони навколо джерел водопостачання сільських садиб призводить до найбільш динамічного збільшення вмісту біогенних сполук (амонійного та нітратного азоту, фосфатів) у ґрунтових водах, внаслідок чого питна вода з підземних джерел, яка споживається сільським населенням дуже часто не відповідає санітарно-гігієнічним вимогам. Щороку із сільськогосподарських угідь внаслідок меліорації, хімізації, інтенсифікації виробництва тваринницької продукції, у світі до поверхневих вод разом з поверхневим стоком потрапляє в середньому 11 млн т гумусу, 0,4 млн т фосфору, 7 млн т калію.

Масштаби і темпи змін геоекологічного стану природних вод особливо вагомі в густонаселених районах з інтенсивною господарською діяльністю. Значна густина населення та концентрація промислових виробництв з багатовідходним технологічним процесом, потребують великої кількості води, що суттєво погіршує рівень екологічної безпеки у ряді регіонів. В умовах обмеженого і нерівномірного розміщення водних ресурсів по території постають проблеми належної очистки стічних вод та стійкого забезпечення водою належної якості з мінімальними екологічними і економічними затратами. Проблеми впливу стічних вод на формування складу природних об'єктів та проблеми очистки стічних вод стали життєво важливими, оскільки велика частина населення планети в якості питної

води використовує очищені стічні води.

**Розбавлення забруднених вод.** Під розбавленням розуміють процес зменшення концентрації забруднюючого компонента у гідрологічному об'єкті зі зростанням відстані від місця скиду стічних вод зумовлений їх змішуванням з природними водами. Перемішуючись, стічні води у гідрологічному об'єкті розбавляються його водою. Відбувається кількакратне зменшення концентрації забруднюючого компонента більш чистою водою гідрологічного об'єкту. Під кратністю розбавлення розуміють показник, який показує, у скільки разів знизився вміст домішки у досліджуваному створі у порівнянні із вмістом у стічній воді. У місці випуску стоків певного об'єму, кратність розбавлення стічної води рівна одиниці при змішуванні з таким же об'ємом природних вод. З віддаленням від місця випуску в розбавленні тієї ж самої маси домішки, що була у даному об'ємі стоків, бере участь все більший об'єм води гідрологічного об'єкту. Кратність розбавлення стоків збільшується, а вміст забруднюючої речовини в одиниці об'єму води водою пропорційно зменшується.

Показник кратності розбавлення об'єму стічних вод в об'ємі води гідрологічного об'єкту є універсальною характеристикою, яка показує у скільки разів збільшився об'єм води, що бере участь у розбавленні стоку, стосовно первинного об'єму стічних вод за умови повного перемішування. Концентрація забруднюючої речовини у стічних водах і у воді водою, як правило, відрізняється. Від її величини залежить швидкість зниження вмісту домішки у воді даного розрахункового створу водою. Крім кратності розбавлення стоків, процес розбавлення характеризується ще й показником інтенсивності процесу розбавлення стічних вод. Інтенсивність процесу розбавлення стічних вод у гідрологічному об'єкті характеризує зниження концентрації даної речовини у часі.

Показники розбавлення стоків та перемішування їх з водою гідрологічного об'єкту характеризують «миттєве» у часі та «локалізоване» у просторі зниження вмісту забруднюючих компонентів, але не враховують самоочищувальної здатності. Облік розбавляючої здатності водного середовища, дозволяє встановити лише режим скидання забруднених стоків у гідрологічний об'єкт та оцінити допустиму кількість стоків не вище рівня граничного екологічного навантаження. При цьому враховують також природний стік та хімічний склад як гідрологічного об'єкту, так і стічних вод.

**Самочищення забруднених вод.** При незначній кількості забруднюючих компонентів забруднена стічна вода самоочищується потрапляючи у природній кругообіг. Природне самоочищення води складається з декількох стадій: поверхневого та підземного стоку, механічного осадження, фільтраційних ефектів, фізико-хімічного адсорбування, хімічного розкладу, біологічного споживання та ін. Внаслідок самоочищення усі нерозчинні компоненти та значна частина розчинених іонів, вилучаються з води у донні відклади, фіксуються у ґрунті, засвоюються біотою і т.д. Тобто на усьому своєму шляху кругообігу вода сама спроможна очищатися від забруднення – продуктів гниття, органічних речовин, розчинених газів, мінеральних речовин, твердих та колоїдних частинок, поверхнево-активних речовин, важких металів і т.п. Фільтруючись через ґрунт та мігруючи у водотоках, незначні кількості стічних вод самоочищуються до безпечних концентрацій від забруднюючих компонентів, які вилучаються з колообігу на геохімічних бар'єрах. У той же час у місцях великого скупчення людей, природної чистої води звичайно не вистачає, особливо якщо її використовують для збору нечистот і перенесення її

подалі від населених пунктів. В таких випадках вода повинна пройти усі стадії очистки: від механічної до біологічної.

**Шляхи забезпечення екологічної безпеки.** В плані використання водних ресурсів екологічна безпека забезпечується наступними шляхами:

**1. Встановлення санітарно-охоронних зон та дотримання заходів санітарної охорони водозаборів.** Зони санітарної охорони на ділянках водозаборів складається з двох поясів: перший (внутрішній) пояс – зона строгого режиму навколо свердловини, колодязя, відкритої водойми, радіусом до 50 м та другий (зовнішній) пояс – зона обмежень. розміри якого розраховуються в залежності від гідрологічних та гідрогеологічних умов.

**2. Поповнення запасів вод водозаборів, захищених від техногенного забруднення.** Водоносні горизонти водозаборів, для яких встановлені та дотримуються зони санітарної охорони та для яких можливе виснаження запасів внаслідок інтенсивної експлуатації, повинні відновлювати динамічні рівні за рахунок природних (річок, озер) та штучних (водосховищ, ставків) поверхневих джерел.

**3. Баражний захист та гідроізоляція водоносних горизонтів водозаборів від потенційних джерел техногенного забруднення.** Баражний захист полягає у створенні штучного механічного бар'єру, що блокує рух забруднених вод до водозаборів, а також охороняє від виснаження води на примикаючих до нього ділянках, шляхом створення на шляху міграції шпунтових загат, глиняних замків, перепон типу “стіна в ґрунті”. При цьому контур водоносних горизонтів, по якому можливе надходження забруднених вод гідроізолюється, що забезпечує екологічну безпеку водозабору.

**4. Перехоплення: дренавання та водовідведення забруднених вод навколо потенційних джерел техногенного забруднення.** Перехоплення забруднених вод здійснюється через їх відпомповування через спеціальні дренажні свердловини, які локалізовані між джерелом забруднення і водозабором та водовідвернення за межі охоронних зон з їх подальшим очищенням чи захороненням у гідроізолюванні водоносні горизонти.

**5. Глибинне захоронення високомінералізованих, радіоактивних та токсичних (особливо забруднених) вод у гідроізолюванні геологічні структури.** Глибинне захоронення особливо забруднених вод у непроникних порід дозволяє безпечно ізолювати та вилучити із зони активного водообміну на тривалий час – 1000 років та більше шкідливі для довкілля агенти. Головними умовами підземного захоронення є екологічна безпечність та багатобар'єрний захист, які передбачають геотектонічну стабільність та інженерно-геологічну стійкість території, гідрогеологічну ізолюваність структури та геохімічну інертність забруднюючих компонентів.

**6. Науково-обґрунтоване розбавлення малозабруднених стічних вод природними водами гідрологічних об'єктів та недопущення неконтрольованих скидів неочищених токсичних стоків.** Полягає у прогнозуванні стану гідрологічного об'єкту на підставі математичного в експериментального моделювання процесів змішування природних вод із стоками, в умовах аналітичного контролю хімічного складу суміші. Скиди малозабруднених стічних вод допускаються за умови зменшення рівнів забруднення від місця скиду у просторі та часі, коли процеси розбавлення і самоочищення компенсують надходження забруднюючих компонентів і категорично не допускаються у випадку зворотної

динаміки з розширенням зони активного забруднення, появи зон екологічної біди, катастрофи чи кризи.

**7. Оборотно водопостачання зі споживанням вод по замкнутому циклу та вдосконалення (“екологізація”) технологічних процесів з метою мінімізації токсичності та кількості стічних вод.** Оборотно водопостачання полягає у багаторазовому використанні води відстояної у технічних водоймах гірничо-загачувальних та інших підприємствах з метою зменшення споживання природних вод та скидів забруднених стоків. Найбільш поширена і проста схема оборотного водопостачання: підприємство – відстійник – підприємство, яка передбачає постійне повне використання виробничих стоків та поповнення втрат води від випаровування, фільтрації і виходу з кінцевими продуктами виробництва свіжою водою в будь-якому місці технологічної схеми. “Екологізація” технологічних процесів полягає у впровадженні аналогічних технологій, при яких мінімізується токсичність та кількість стічних вод.

**8. Водопідготовка та використання якісної води для питного і технічного споживання, із вмістом забруднювачів, що не перевищує встановлених норм.** Під водопідготовкою розуміють комплекс технічних заходів з обробка води, що поступає з природного джерела, для приведення її якості у відповідність з вимогами санітарних норм, що проводиться для потреб комунального господарства, теплоенергетиці, транспорту, промислових підприємствах. Водопідготовка полягає в звільненні води від грубодисперсних і колоїдних домішок і розчинених у ній солей, для запобігання відкладенню накипу, винесення солей порою, корозії металів, а також забруднення оброблюваних матеріалів при використанні води в технологічних процесах.

Водопідготовка включає наступні основні методи обробки:

- 1) освітлення – видалення з з води завислих частинок;
- 2) знебарвлювання – видалення хромофорів;
- 3) знезараження – хлоруванням, озонуванням, УФ-опроміненням;
- 4) пом'якшування (усунення твердості води осадженням солей кальцію і магнію, вапном і содою або видалення їх з води катіонами);
- 5) знесолення (зменшення мінералізації) – дистиляцією у випарниках;
- 6) знекремнення (іонний обмін або дистиляцією у випарниках);
- 7) видалення розчинених газів – термічним чи хімічним методом;
- 8) знезалізнення (знеміднення) методом фільтрування;
- 9) поліпшення органолептичних властивостей води (вилучення з води речовин, що додають воді запах (сірководень, хлор) і органічних речовин).

Отримана у такий спосіб якісна вода, яка відповідає нормативним вимогам до питного та технічного споживання подається кінцевим користувачам, що забезпечує їх екологічну безпеку.

**9. Розвиток технологій, що мінімізують водоспоживання у побуті та господарській діяльності пов'язаний з підвищенням ефективності використання природних ресурсів, в рамках яких забезпечується найбільш повне та раціональне використання води.** В основі розвитку таких технологій лежать три концепції:

- 1) Створення максимально замкнених систем, організованих за аналогією з природними екосистемами;
- 2) Відсутність загрози довкіллю та можливість повторного використання як вихідних речовин технологічного процесу, у тому числі води, так і проміжних та кінцевих продуктів, незалежно від того яких змін вони зазнають.

3) Впровадження водооблікових, водоконтролюючих та водорегулюючих приладів, побутових та промислових пристроїв, які зменшують витрати води на одиницю виробленої продукції у порівнянні із традиційними технологіями.

**10. Якісна очистка стічних вод**, за умови врахування компонентного складу стічних вод, дотримання регламенту та технології усіх стадій очистки.

Специфіка очистки стічних вод, пов'язана насамперед із їхньою багатоконпонентністю поллютантів:

- сміття (уламки понад 3 мм: ганчірки, пластик та ін.);
- пісок (механічні уламки розміром від 0,1 мм до 3 мм);
- живі мікроорганізми (бактерії, віруси);
- органічна речовина (складові екскрементів, харчових волокон, паперу);
- колоїдні частинки (органічні та неорганічні завислі у воді частинки);
- розчинені речовини (нітрати, фосфати, кальцій, калій, натрій та деякі інші іони як біогенного походження, так і вилюговані мінеральні компоненти).

Стічні води потрапляють в каналізаційну систему через об'єднання всіх стічних труб в «стовбур» в яких потрапляють стоки від житлових будинків чи промислових об'єктів. У первинних стоках на кожну частину відходів припадає приблизно 1000 частин води, тобто в них 99,9% води і 0,1% забруднюючих компонентів. З додаванням дощових зливових вод розведення ще більше збільшується. Технологія очистки стічних вод полягає у послідовному вилученні з них забруднюючих речовин у наступні стадії:

- Передочистка стічних вод штахетним способом, на грабельних решіток чи проціджувачах полягає у механічному видаленні з них сміття, перед надходженням в очисні споруди. Для цього вода пропускається через стрижневий каркас штахету (граблі) – ряди стержнів на різних відстанях один від одного та на різних відстанях між стержнями. Після того як сміття механічно осіло на стержнях каркасу його періодично (вручно чи автоматично) збирають та відправляють у спеціальну піч для спалювання.
- Механічної очистки у пісколовках полягає у затриманні піску і інших мінеральних включень із стічних вод при різкому сповільненні їх потоку, гравітаційному осадженні та механічному видаленні піскового осаду на спеціальні піскові майданчики.
- Тонкої механічної очистки у первинних (радіальних) відстійниках – крупних круглих резервуарах до 30 м і більше в діаметрі, де відбувається осадження завислих речовин (колоїдних частинок) при досить тривалому (до 2 годин) перебуванні стоків. Внаслідок цього стічні води звільнюються від 90 % дрібно-пісчаної фракції і на 70 % по масі від завислих частинок. Вода, яка покидає первинні відстійники, усе ще містить 50-70% не осілих органічних колоїдів та майже всі розчинені важкі метали, хімічні та біогенні поллютанти.
- Первинної біологічної очистки на краплинних біофільтрах чи у аеротенках, що передбачає усунення основної маси органічної речовини, важких металів, біологічних агентів, які залишилися у воді на попередніх стадіях. Основним агентом цієї стадії є живі організми – природні редуценти і детритофаги активного мулу, які споживають органічну речовину і у процесі дихання перетворюють її на воду і вуглекислий газ. Щоб отримати екологічну перевагу над анаеробними мікроорганізмами стоків, біофільтри та аеротенки повинні інтенсивно аеруватись повітрям.
- Біологічної доочистки у біологічних ставках, що передбачає усунення



залишкової маси органічної речовини, важких металів, біологічних агентів, які залишилися у воді. Тут організми, які випадково були змиті з краплинних біофільтрів чи активного мулу аеротенків, усуваються з води, шляхом біологічного окислювання та повторного проходження речовини по трофічних ланцюгах. У біологічних ставках при очищенні стічних вод живуть практично усі організми, які населяють будь-яку застійну водойму. Пройшовши стадію доочистки у біологічних ставках стічні води втрачають 85-90% органічної речовини, важких металів та інших хімічних забруднень.

- Фізичної дезінфекції ультрафіолетовим світлом, що передбачає поступлення та короткочасне перебування осадженого мулу чи очищеної води перед її скидом у природні гідрологічні об'єкти у камері опромінення з увімкнутими газорозрядними ртутними бактерицидними лампами.
- Хімічної дезінфекції методами хлорування чи озонування, що передбачає барботування осадженого мулу чи очищеної води перед її скидом у природні гідрологічні об'єкти. Дезінфекційна дія хлору та озону полягає в їх надзвичайно високій хімічній активності та окисно-відновних реакціях, які відбуваються при взаємодії і з органічними речовинами залишкових мікроорганізмів. Хлор також очищує воду від залізомісних суспензій, які надають темного кольору воді, знебарвлюючи її і очищуючи воду від важких металів.
- Мінералізації, ущільнення, зневоднення, дегазації осадженого мулу в мінералізаторах, мулоущільнювачах, зневоднювачах (декантерах, центрифугах), метантенках, мулових полях, що передбачає екологічно безпечно поводження з основним побічним продуктом очистки стічних вод – осадженим мулом, що створює низку проблем для довкілля.

**Забруднення поверхневих вод нафтою та нафтопродуктами – причини та наслідки.** Нафта є екологічно небезпечною речовиною, яка при попаданні в навколишнє середовище (в ґрунт, у водойми) порушує, пригноблює і примушує протікати у специфічних окисно-відновних умовах усі життєві процеси:

- зменшує вміст розчиненого кисню у воді (через тонку плівку);
- пригнічує дихальну активність і мікробне самоочищення;
- змінює співвідношення між популяціями природних мікроорганізмів (аеробне середовище заміщується анаеробним);
- пригноблює процеси фіксації азоту та нітрифікації, зменшує кількість корневих виділень і органічних залишків рослин, що є найважливішими чинниками живлення мікроорганізмів;
- стимулює руйнування клітковини та життєвих процесів;
- пригнічує гниття відмерлої органіки та сприяє процесу консервації целюлози;
- призводить до накопичення трудноокислюваних речовин у воді, донних відкладах та ґрунтах;
- розкладається довгий час, завдаючи довкіллю значних збитків.

Під нафтою розуміють природну суміш фракцій рідких вуглеводнів, у якій як правило розчинені гази (пропан-бутан) та тверді вуглеводні (парафіни). Нафта складається головним чином з насичених вуглеводнів (алканів, парафінів, що містять від 5 до 50 атомів вуглецю – пентан, гексан, гептан, октан, нонан, декан та ін.), циклічних вуглеводнів (нафтенів –  $C_nH_{2n}$ , – циклогексанів  $C_6C_{12}$ , циклопарафінів), ароматичних вуглеводнів (аренів –  $C_nH_n$ , у т.ч.бензол  $C_6H_6$ ), домішки сірчистих, азотистих і інших сполук, пластова вода. Нафта є унікальним природним розчином, в якому діагностовано понад 2 тисячі простих вуглеводнів,

кожен з яких можна розглядати як самостійний токсикант. З фізико-хімічної точки зору нафта представляє собою рідину, яка легша за воду та майже нерозчинна у ній, але може утворювати стійкі емульсії, а також тонкі плівки на водній поверхні.

Без нафти та нафтопродуктів уявити сучасну цивілізацію практично неможливо: від палива для автомобілів, локомотивів, літаків, електростанцій (бензин, гас, дизельне паливо, мазут) до сировини для нафтохімічної промисловості – з нафти і нафтопродуктів виробляють понад більш 20 тис. органічних сполук (пласмаси, поліетилен, оливи, парафін, сажа та інше).

Видобуток та транспортування нафти неминуче призводять до аварійних розливів: забруднення акваторій, берегової лінії, пляжів, ґрунтів, загибелі птахів, тварин та риб. Нафтові забруднення внутрішніх водойм пов'язані з аварійними виливами з нафтопроводів, свердловин, промисловими та комунальними стоками. Акваторії морів та океанів вважаються забрудненими при перевищенні гранично-допустимої концентрації нафтопродуктів у воді вище 0,05 мг/л. Проблема забруднення Світового океану та ізольованих морських акваторій не втратить своєї актуальності, доти, поки не припиниться видобуток та транспортування нафти (рис.35).



**Рис. 35.** Карта забрудненості акваторій Світового океану нафтопродуктами: найбільші аномалії приурочені до ділянок видобутку і транспортування нафти.

Загальне надходження нафтових вуглеводнів в акваторії океанів та морів оцінюється від 1,7 до 8,6 млн. т. на рік. В останні роки спостерігається тенденція до зменшення надходження нафти в Світовий океан з антропогенних джерел – з 6,1 до 2,35 млн. т. на рік – за рахунок законодавчого обмеження прямих скидів промивних та баластних вод. Проте об'єм щорічного надходження вуглеводнів значною мірою залежить від кількості аварійних розливів, хоча на їх частку доводиться в середньому близько 6 % від рівня їх загального надходження. Окремі з таких аварійних викидів носять характер екологічних катастроф.

22 квітня 2010 р. сталася аварія нафтової платформи British Petroleum в Мексиканській затоці внаслідок якої, щодня виливалось 50-60 тисяч барелів (7-8 тис. тонн) нафти, яку назвали амерканським нафтовим Чорнобилем. За умов постійного

притоку при фонтануванні свердловини до часу, доки доки фонтан бне був повністю перекритий, за 85 діб у акваторію мексиканської затоки вилилось 4,9 млн. барелів (231 тис. тонн) нафти, а нафтова пляма на поверхні експоненційно розширювалась до площі майже 200 тис. км<sup>2</sup>. Сума збитків та вартість робіт з ліквідації екологічної катастрофи склала кілька десятків мільярдів доларів.

Друга за масштабами катастрофа сталася 23 березня 1989 р. внаслідок аварії танкера "Вальдес" компанії "Ексон" біля Аляски, коли у воду вилилося понад 30 тис. т нафти, забруднено 28 тис. км<sup>2</sup>. акваторії та 2400 км узбережжя. Ліквідацію наслідків ускладнювали суворі кліматичні умови та віддаленість регіону. Сума збитків та вартість робіт з ліквідації екологічної катастрофи склала кілька мільярдів доларів. Дрібні аварії із менш трагічними екологічними наслідками стаються практично щороку, у тому числі і у територіальних водах України.

**Поведінка нафти при потраплянні у воду** визначається нвступними процесами:

1. Емульсифікацією та розтіканням, коли після потрапляння нафти на поверхню води, під впливом гідростатичних сил, відбувається її емульсифікація (формування водно-нафтової емульсії) та утворення нафтової плівки, яка дуже швидко розтікається і вже за 24 години досягає середньої товщини менш 0.03 мм.

2. Випаровуванням з поверхні води. Випаровуванню з розлитої на поверхні води нафти піддаються тільки легкоплавкі вуглеводні (пентан-гексан). Більш інтенсивно випаровування відбувається в умовах помірних та високих температур. На випаровування впливають також швидкість вітру, турбулентність та інтенсивність сонячного випромінювання. Випаровування призводить до полегшення нафтової плями на 25-50%. Втрата легких вуглеводнів збільшує густину і кінематичну в'язкість нафтової плями. Така нафта найбільш небезпечна для усього живого.

3. Фотоокисленням, коли під дією сонячного світла, наявності кисню в атмосфері, на поверхні води окремі нафтові вуглеводні окислюються з утворенням вуглекислого газу, води, водорозчинних фенолів, альдегідів, кетонів, карбонових кислот.



Внаслідок фотоокислення маса розлитої на поверхні води нафти суттєво зменшується. При цьому наявність водорозчинних продуктів окислення нафти (фенолів) є індикатором нафтового забруднення.

4. Диспергуванням нафтової плівки (її подрібненням) яке проходить внаслідок хвильового руху води, утворення емульсії типу «масло у воді» та її гравітаційної диференціації.

5. Адсорбцією твердих та завислих частинок, які є у воді (водорослях, колоїдах), що вилучають з води дисперговані колоїдні частинки вуглеводнів. При цьому вилучаються з водного середовища при поглинанні поровим простором адсорбентів переважно низькомолекулярні вуглеводні.

6. Біодеструкцією вуглеводів під дією мікроорганізмів називають їх хімічне та бактерійне окислення в аеробних умовах і біохімічну та мікробіологічну редукцію в анаеробних умовах, коли в результаті біотичних взаємодій відбувається їх розклад до простих сполук і накопичення нової органічної речовини в результаті наростання біомаси мікроорганізмів. Рух води та турбулентна дифузія кисню, сонячне світло та солі морської води каталізують процеси окислення. Застійний характер водної товщі, наявність сульфатів у воді, відсутність рочиненого кисню та сонячного

освітлення сприяють анаеробних біотичним процесам. Кінцевими продуктами біодеструкції вуглеводнів в аеробних умовах нафтокислючими бактеріями є вуглекислий газ та вода, а в анаеробних умовах метаногенеруючими та сульфатредуючими бактеріями є вуглекислий газ, вода, метан та сірководень.

7. Осадженням у донних відкладах. В результаті розливу нафти на водній поверхні утворюються емульсії до двох типів – «нафта у воді» і «вода в нафті». Перший тип відрізняється дуже великою поверхнею контакту нафти з водою і є нестійким до фотоокислення, диспергування, адсорбції та біодеструкції. Другий тип – «вода у нафті», який ще назвають «шоколадним мусом» – дуже стійка емульсія, завдяки присутності в ній важких компонентів – асфальтенів. У випадку плавучості чи «зависання» така емульсія тривалий час зберігає шкідливу дію та дуже важко піддається вилученню. Але частіше за рахунок вищої питомої ваги важких вуглеводнів, під дією сили гравітації, емульсія типу «вода у нафті» проникає у водну товщу та осідає на дно, де нагромаджується в донних відкладах. Швидкість розпаду похованої на дні нафти різко знижується, процеси деструкції сповільнюються, особливо в анаеробних умовах, і закумуляовані в товщі опадів важкі фракції нафти можуть зберігатися тут протягом багатьох місяців та навіть років.

8. Викиди нафти на узбережжя. В результаті хвильового руху поверхневого шару забруднених нафтою океанічних (морських) вод до берегової лінії та хвилеприбійної діяльності відбувається викид завислих емульсій на узбережжя. Час знаходження нафти та водо-нафтової емульсії в прибережних відкладах визначається їх літологічним складом та конфігурацією берегової лінії і складає від кількох днів на скельних берегах до 10 років на захищених від хвилеприбійної діяльності замулених ділянках. В останньому випадку, за умов шторму, через тривалий час від первинного розливу, нафта акумульована у відкладах узбережжя стає джерелом вторинного забруднення прибережних вод.

**Шляхи забезпечення екологічної безпеки гідрологічних об'єктів при нафтових забрудненнях.** При аварійних розливах нафти та нафтопродуктів в межах акваторій, екологічна безпека забезпечується наступними шляхами:

1. Локалізацією та припинення витоку нафти з аварійного об'єкту.
2. Механічним обмеженням поширення нафтової плями.
3. Очищенням акваторії від нафтових забруднень.
4. Очищенням узбережжя від нафтових забруднень.
5. Знешкодженням забруднених нафтою компонентів.

Локалізація та припинення витоку нафти залежить від характеристик аварійного об'єкту: багатотоннажний танкер, фонтануюча нафтова свердловина, магістральний нафтопровід та полягає в гасінні пожежі, закритті затворів чи клапанів, встановленні заглушок чи блокуючи куполів.

Механічне обмеженням поширення нафтової плями полягає насамперед у встановленні бонових загородж – ланцюжка шарнірно з'єднаних між собою поплавців, які тримаються на воді і створюють суцільну загороджу, для недопущення поширення нафти по поверхні води, з метою їх подальшої локалізації та збору.

Очищення акваторії від нафтових забруднень полягає застосуванні заходів із зменшення концентрації вуглеводнів на поверхні гідрологічних об'єктів. До таких заходів належать:

- 1) відпомповування локалізованої нафти з поверхні водойми;
- 2) контрольовані випалювання нафти на поверхні водойми;
- 3) очистка акваторії за допомогою речовин-диспергаторів нафти;

4) первинна очистка акваторії за допомогою органічних асорбентів: соломи, сіна, тирси, болотного моху;

5) Вторинна очистка акваторії за допомогою мінеральних асорбентів: цеолітів, смектитів.

6) Прикінцева очистка акваторії за допомогою бактерій-біодеструкторів вуглеводнів виду *Alcanivorax borkumensis*.

У випадку нафтового забруднення річки, вищезазначені заходи можуть послідовно застосовуватись за схемою, показаною на рис.36.



Рис.36. Схема послідовної очистки річки, акваторія якої забруднена нафтою.

Очищення узбережжя від нафтових забруднень полягає у зборі викинутих водоростей, загиблої біоти, донних відкладів та ґрунтів забруднених нафтою, їх вилученні та утилізації.

Знешкодження забруднених нафтою компонентів полягає у:

1) утилізації органічних асорбентів: соломи, сіна, тирси, болотного моху, які увібрали в себе нафту, за допомогою спалювання;

2) регенерації мінеральних асорбентів: цеолітів та смектитів, за допомогою відпалування;

3) безпечному захороненні забруднених нафтою водоростей, загиблої біоти, донних відкладів та ґрунтів.

## **РОЗДІЛ VIII. ГІДРОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ ТЕКУЧИХ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД, НЕБЕЗПЕЧНІ ГІДРОГЕОДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ, ЇХ ПРОГНОЗ ТА ПОПЕРЕДЖЕННЯ, ПРИЧИНИ ТА НАСЛІДКИ, ШЛЯХИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ.**

**Гідрологічні параметри текучих поверхневих вод.** Під текучими водами слід розуміти всі води поверхневого стоку суходолу, від вод тимчасових водних потоків і струмків, що виникають при випаданні дощу та таненні снігу, до вод найбільших річок. Такі води, стікаючи по поверхні Землі у великі озера, моря та океани,

виконують різноманітну геологічну роботу. Відповідно, інтенсивність такої роботи та її наслідки будуть залежати від маси води та швидкості її переміщення, тобто гідрологічних параметрів текучих поверхневих вод.

Надмірна кількість опадів, раптове танення снігового покриву, підвищена водність річок призводять до різких змін гідрологічних параметрів та усталених режимів річок – стану водотоку у часі та проявляється у вигляді коливань рівней і витрат води (водний режим), температури (термічний режим) та періодів настання та скресання криги (льодовий режим). Такі зміни створюють загрози екологічній безпеці територій та тісно пов'язані із активізацією небезпечних гідрогеодинамічних процесів, що супроводжуються паводками, повенями, підтопленнями, заболочуванням, затопленням, проривами гідротехнічних споруд, призводять до чисельних людських жертв, значних матеріальних збитків, суттєвого погіршення стану довкілля.

До гідрологічних параметрів поверхневих вод відносять:

- 1) площа водної поверхні, площа басейну, площа водозбору,  $m^2$ , га,  $km^2$ ;
- 2) ширина, довжина, глибина водойми, у м, км;
- 3) ухил річки, у м/км;
- 4) об'єм водойми,  $m^3$ ;
- 5) швидкість водного потоку, у м/с;
- 6) Площа поперечного перерізу водного потоку,  $m^2$ ;
- 7) Дебіт (розхід) водного потоку, у л/с,  $m^3/с$ ;
- 8) Величина стоку – кількість води, що стікає з площі водозбору за певний інтервал часу. Звичайно величина стоку виражається у вигляді об'єму, модулі або шарові стоку:

Модуль стоку – кількість води, що стікає з одиниці площі водозбору за одиницю часу, л/с- $km^2$ .

Об'єм стоку – об'єм води, що стікає з водозбору за період часу, у  $m^3/год$ ,  $km^3/рік$ .

Шар стоку – кількість води, що стікає з водозбору за певний проміжок часу, у вигляді шара, рівномірно розподіленого на площі водозбору (обчислюється шляхом поділу об'єму стоку на площу водозбору), у мм.

Шар втрат стоку – різниця між шаром опадів і шаром стоку, тобто частина шару опадів, не потрапляюча в русло водотока, у мм.

9) Водність – відносна характеристика стоку за певний інтервал часу в порівнянні з його середньою багаторічною величиною або величиною стоку за інший період того ж року. Розрізняють малу, середню і велику водність, у  $m^3/год$ ,  $km^3/місяць$

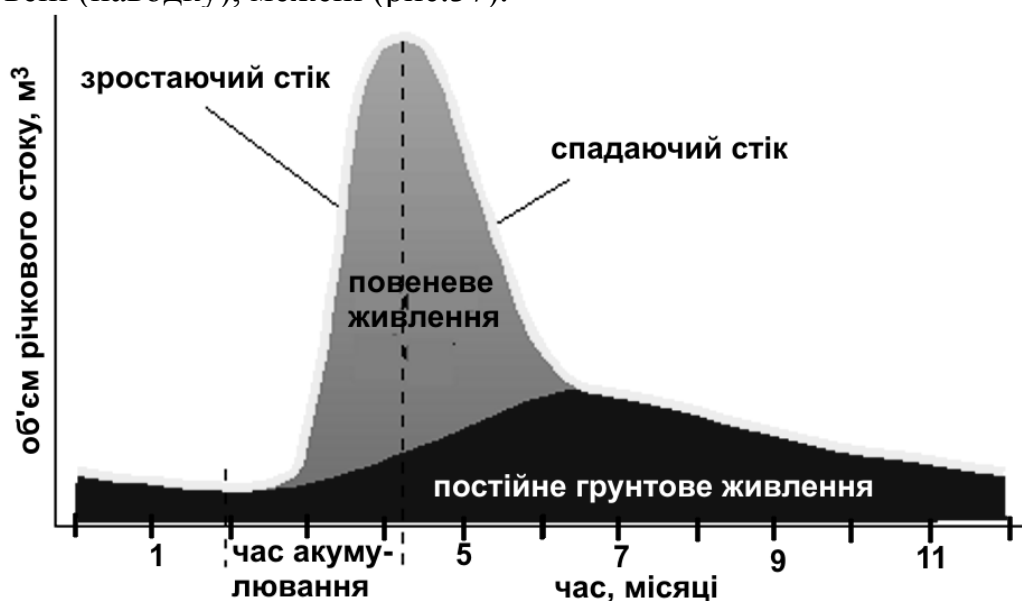
10) Мінливість стоку – коливання величин стоку в часі. Звичайно використовуються коливання величин стоку за багаторічний період.

11) Коефіцієнт стоку – відношення кількості випавших на площу водозбору опадів до об'єму або шара стоку, що зумовило виникнення стоку, у (долях, %).

12) Крива виснаження стоку – крива, що характеризує закономірність зменшення величини стоку у зв'язку з виснаженням запасів води в річковому басейні.

**Живлення річок** відбувається поверхневими і підземними водами. Поверхнєве живлення, в свою чергу, підрозділяється на снігове, дощове та льодовикове. Снігове живлення річок обумовлене таненням навесні снігу, який накопичився зимою. Для рівнинних річок України стік весняного водопілля складає більше 50% сумарного річного стоку. Дощове та злинове живлення річок відбувається за рахунок тривалих дощів та злив, відрізняється значними коливаннями об'ємів стоку. тривалі дощі

можуть охоплювати великі території і забезпечувати стік на протязі більш-менш тривалого періоду. Зливи ж, поширюючись на невеликі території і маючи невелику тривалість, викликають значні, але короточасні підвищення рівнів води. Льодовикове живлення зумовлене таненням льоду і багаторічних снігів високогір'їв. Максимальний льодовиковий стік гірських річок спостерігається в найбільш жаркі місяці. Живлення річок підземними водами, насамперед ґрунтовими, найбільш усталене й рівномірне на протязі року. На тип живлення річки вказує **гідрограф річки** – графік зміни в часі витрат води за рік який будується на підставі даних про щоденні витрати води в місці спостереження за річковим стоком. На осі ординат відкладається величина витрати води, а на осі абсцис — відрізки часу. Крім типу живлення гідрограф відображає характер розподілу водного стоку протягом року, сезону, повені (паводку), межені (рис.37).



**Рис.37.** Гідрограф річки з двома типами живлення.

Аналіз гідрографа дозволяє встановити періоди максимальної, середньої та мінімальної витрати води, загальну тривалість, тривалість періодів підйому та спаду рівня води, об'єм стоку за період водопілля або паводку, а також за час підйому та спаду, коефіцієнт асиметричності гідрографа та ін.

**Водний (гідрологічний) режим річок.** У залежності від умов живлення річок у їхньому режимі виділяють наступні фази: водопілля (повінь), паводок, межень.

Під водопіллям (повінню) розуміють фазу водного режиму річки, яка щорічно повторюється в даних кліматичних умовах в один і той же сезон і який характеризується найбільшою водністю, високим і тривалим підйомом рівня води. Воно викликається на рівнинних річках сніготаненням (весняне водопілля), на високогірних – таненням снігу й льодовиків (літнє водопілля).

Під паводком розуміють фазу водного режиму річки, яка може багаторазово повторюватись у різні сезони року, характеризується інтенсивним, зазвичай короточасним, збільшенням витрат і рівнів води і викликається дощами або сніготаненням під час відлиги. Визначні по величині і рідкі по повторюваності паводків (водопілля), що можуть викликати жертви і руйнування, називають катастрофічними паводками (водопіллями).

Під меженню розуміють фазу водного режиму річки, яка щорічно повторюється в один і той же сезони і яка характеризується малою водністю, тривалим стоянням

низького рівня і яка виникає внаслідок зменшення живлення річки. До літньої (літньо-осінньої) межени відносять період від кінця водопілля до осінніх паводків, а при їх відсутності – до початку зимового періоду, тобто до виникнення на річці льодових явищ. Літня межень може бути усталеною, тривалою, а також переривчастою, несталою (періодичне порушення дощами). Зимова межень співпадає звичайно з періодом льодоставу. Витрати води від початку замерзання річок поступово знижується, досягаючи мінімуму перед скресанням; це пов'язано з виснаженням запасів підземних вод.

**Термічний та льодовий режим річок** формується під дією трьох основних груп чинників:

1. температурних, що зумовлюють тепловий баланс річки в різні пори року, за рахунок інтенсивності сонячної радіації;

2. морфометричних (зміна ухилів, глибин та ширини русел), які впливають на проточність та швидкість водообміну окремих ділянок;

3. антропогенних (різних видів господарського використання річок). Які змінюють природні умови.

Головний фактор термічного режиму – інтенсивність сонячної радіації (інсоляція) залежить від географічного розташування. Разом з тим водність річок і морфологічні особливості їх русел, підземні води і антропогенні фактори викликають значні локальні зміни у термічному та льодовому режимі, які нерідко є важливішими за рівень інсоляції. Тому в розподілі характеристик термічного і льодового режимів річок відмічається значна строкатість.

Термічний режим характеризується зміною температури води протягом року від дати стійкого переходу через  $0,2^{\circ}\text{C}$  навесні до дати стійкого переходу восени (початок льодових явищ). Середні багаторічні дати переходу температури води через  $0,2^{\circ}\text{C}$  навесні на ділянках рівнинних річок з природним термічним режимом і помірним ґрунтовим живленням становлять в умовах України: на північному сході – кінець березня – початок квітня, на півдні – перша декада березня. Стійкий перехід температури води через  $0,2^{\circ}\text{C}$  восени щорічно відмічається лише на північному сході України, і відбувається це найчастіше з кінця листопада до середини першої декади грудня.

Найвищі значення температури води спостерігаються найчастіше в липні і становлять на північному сході України  $25-27^{\circ}\text{C}$ , на півдні –  $28-30^{\circ}\text{C}$ .

Середні дати початку стійких льодових явищ на річках північного сходу України – 10-15 листопада, півдня – 26 листопада – 5 грудня. Ранні терміни початку стійких льодових явищ випереджають середні на два-три тижні, а пізні – запізнюються на місяць і більше.

Льодостав на всіх річках України протягом зими часто порушується скресом під час відлиг. Стійким вважається льодостав тривалістю 20 і більше діб. Навесні льодовий покрив руйнується під впливом тепла і механічної дії води. Крім того, на строки скресу впливає і товщина льодового покриву.

Середні строки скресу на річках північного сходу – в другій половині березня, на річках південного заходу – на початку березня. Повністю очищуються від льоду річки через 5-10 діб після скресання.

**Природні та антропогенні причини паводків.** До природних причин настання паводків належать:

1. метеорологічні чинники: Раптове посилене сніготанення чи випадання значної кількості опадів вище норми у кілька разів, після вологих періодів, коли



грунт ще промерз чи уже наситився вологою, внаслідок чого зменшилась його проникність і водопоглинальна здатність. При особливо негативних умовах, має місце накладання чинника зливових дощів на процес активного танення снігу, коли паводки можуть бути катастрофічними.

2. інженерно-геологічні та гідрогеологічні умови: зсуви, обвалали, загати з кореневищ і стовбурів дерев, конуси виносу селевих потоків зумовили порушення вільного стоку, спричинили підпір ґрунтових вод, акумулювання надлишкових водних мас та їх раптове вивільнення при втраті стійкості.

3. вегетативні чинники: припинення вегетації, опадання листя з дерев і всихання трав на луках, тобто період різкого зменшення здатності рослинного покриву затримувати дощові води, їх зворотнього випаровування в атмосферу та припинення транспірації.

4. сезонно-кліматичні чинники: підвищення температури повітря після попередніх снігопадів, викликало танення снігу у верхіві басейну сприяє додатковому надходженню води до водотоків;

5. попередній рівень водності річок: висока водність річок перед початком паводку, зумовлена сезонною повінню.

До антропогенних причин настання паводків належать:

1. розорювання крутосхилів у гір, де формується паводковий стік;

2. лісогосподарська трансформація ландшафту: суцільні вирубки лісів, інтенсивна лісоексплуатація, розширення високогірних лук (пасовищ), зниження верхньої межі лісу, погіршення санітарного стану лісових насаджень, зменшення їх водотрансформаційної і схило-захисної функції.

3. відсутність повенево-захисних акумулюючих водосховищ на гірських річках, призначених насамперед врегульовувати річковий стік у періоди інтенсивних опадів та можливих паводків;

4. замулення русел річок зсувно-селевим матеріалом, що призводить до розширення території підтоплення і затоплення, зниження регулюючої здатності дамб;

5. недотримання режиму господарювання у водоохоронних зонах та прибережних захисних смугах річок, самовільна забудова заплав гірських річок аж до їх русел.

**Класифікація паводків за характером їх впливу на русло річки та господарські об'єкти.** За впливом паводкових вод на русло та господарську інфраструктуру паводки поділяють на чотири типи:

1. руслозберігаючі паводки, при яких проходження паводкових вод зберігає усталене русло річки, а в межах заплави відсутні руслові новоутворення;

2. руслоконтролюючі паводки, при яких проходження паводкових вод зумовлює часткову зміну усталеного русла річки, яка проявляється у появі в межах заплави нових мікроформ руслових новоутворень;

3. руслоформуючі паводки, при яких проходження паводкових вод призводить радикальної зміни русла річки з руйнуванням мезо-, а іноді і макроформ рельєфу та формуванням в межах усталеного русла акумулятивних мезоформ, з частковим, слабким та середнім руйнуванням інженерних споруд, їх виведенням з ладу в межах русла і частково заплави;

4. руслоруйнуючі паводки з катастрофічними наслідками, при яких проходження паводкових вод призводить до повного руйнування всіх видів форм рельєфу русла та радикальної зміни руслового процесу зі значним руйнуваннями інженерних споруд та виведенням їх з ладу як в межах русла так і значній мірі в межах заплави.

**Наслідки паводків.** Наслідками проходження паводкових вод є:

1. Ерозійні зміни русла та заплави: бокова та донна ерозія, підрізка схилу, активізація зсувів.
2. Акумулятивні зміни русла та заплави: формування плес, конусів виносу, загат.
3. Механічні руйнування інженерних комунікацій: знесення мостів, руйнування дамб, гідротехнічних об'єктів.
4. Тимчасові негативні гідрологічні зміни заплави: затоплення населених пунктів та сільськогосподарських земель, погіршення якості води та стану господарських і житлових будівель, що унеможливує їх подальшу експлуатацію, загибель урожаю, падіж худоби, людські жертви.

### **Шляхи забезпечення екологічної безпеки.**

1. Паводки є частиною природного водного циклу та трапляються кожного разу, коли протягом короткого періоду часу випадає значна кількість опадів чи раптово тануть снігові маси, водні потоки з яких стікають в долини струмків чи річок. **Тому головним чинником забезпечення екологічної безпеки є впровадження системи попередження часу настання паводку, яка дозволить попередити населення за певний час до паводку – від кількох годин до кількох днів.** Більш ранні паводкові попередження пов'язані з прогнозом опадів є менш надійними.

2. **Облаштування захисних дамб вздовж річок** – гідротехнічних споруд, які обмежують поширення паводкових вод. Конструкція дамб залежить від її висоти, типу підстилаючого ґрунту. Верховий (мокрий) укіс захищається від можливого абразійного розмиву штучним покриттям. Дамби з боку низового укосу оснащуються дренажем. Відмітка гребеня греблі визначається гідрологічним розрахунком, виходячи з відміток затоплення при різній вірогідності настання цієї події, а так само виходячи з величини басейну водозбору, його характеристикам і вірогідності перевищення розрахункових відміток.

3. **Облаштування дамб обвалування навколо населених пунктів, об'єктів підвищеної екологічної небезпеки** – для захисту території від затоплення паводковими водами. Дамби відсипають з місцевого ґрунту або привозного матеріалу на незначні віддалі. Для обмеження фільтрації через тіло греблі виконуються протифільтраційні заходи: облаштовуються екрани з полімерних матеріалів, глиняні замки, водонепроникні ядра дамб.

4. **Підсипка потенційно затоплюваної території до відміток, які унеможливають затоплення в умовах настання паводку.** На практиці часто застосовується поєднання двох заходів – обвалування і підсипку.

5. **Облаштування протипаводкових акумулюючих ємностей та тимчасово затоплюваних територій з фільтруючими дамбами,** у яких затримується паводкова вода і вилучається з паводкового стоку та рівномірно стікає після зниження рівня паводкових вод.

**Геологічна робота річок та стабільність латеральної еволюції потоку поверхневих вод.** Геологічну роботу річок можна поділити на три основних типи: ерозійну (руйнівну), транспортну (з перенесення та окатування продуктів руйнування) та акумулятивну (накопичення продуктів руйнування). Однак дуже часто розділити їх розрізнити в просторі і часі дуже важко. Насамперед тому що процеси ерозії дна і берегів, в одному місці, супроводжуються перенесенням на незначну віддаль та осадження уламків недалеко від їх відкладення.

**Ерозія** або розмивання корінних чи перевідкладених відкладів, здійснюється динамічною дією води на гірські породи, коли річковий потік стирає породи

уламками, які несе вода. У постіних водотоках ерозія буває донною і боковою. Для тимчасових водотоків виділяють площинну, схилову та лінійну. Площинна ерозія можлива тільки на ідеально рівній поверхні схилів (тобто на схилах без мікронерівностей), що у природних умовах трапляється вкрай рідко. Вода зі схилів, майже завжди стікає не площинним потоком (плащем), а дрібними струмками, виробляючи лінійні розмиви різної величини – в глибину від кількох міліметрів до всієї товщини ґрунтового покриву і до десятків сантиметрів у ширину (іноді до 2-3 м і більше).

**Донна ерозія** проявляється при швидкій течії, коли уламки порід розмивають дно річки. За умови коли річка протікає впоперек контакту між різними за стійкістю до розмиву породами, то м'які породи розмиваються швидше за тверді, які у такому випадку можуть утворювати переكاتи, пороги, водопади. В умовах донної ерозії річка заглиблює своє русло та виробляє більш пологий подовжній профіль, прагнучи рівноважного стану, при якому поглиблення дна припиняється. Положення профілю рівноваги, як і всієї ерозійної діяльності річки, залежить від базису ерозії, під яким розуміють рівень моря чи будь-яких інших басейнів, куди впадає річка.

**Бокова ерозія** проявляється у руйнуванні одного берега та акумулюванні уламкового матеріалу на протилежному, при різкому зменшенні ухилу річки та швидкості течії у заплавах рівнинних водотоків. За таких умов в період повеней річка розмиває увігнуті берега, а на вигнутих утворює насипи, які пізніше заважають потоку її води. Якщо у наступний повеневий період річка не розмиває ці насипи, то в місці звуженої частини суміжних меандр, відбудеться прорив річкою цієї частини, а попереднє русло, залишається в стороні у вигляді серповидних озерець – стариць, які є індикатором прояву бокової ерозії.

Процес переносу уламкового матеріалу річкою називається **алювіальним**, а відклади – **алювієм**. Об'єм твердої речовини, яка будучи завислою у воді, переноситься водним потоком за одиницю часу через поперечний переріз русла називають **твердим стоком річки**. Найбільш наглядно процес переносу уламкового матеріалу спостерігається у гірських районах, коли під впливом бурхливого танення снігів і льодовиків, а також в результаті коротких, але сильних грозових злив, виникають могутні тимчасові водотоки зі швидкою течією та потужним гідравлічним напором, які здатні переносити чи перекочувати кам'яні глиби діаметром до 2-х і більше метрів. При зниженні швидкості потоку чи зменшенні гідравлічного напору, процес переносу припиняється і уламковий матеріал осаджується у вигляді алювію.

Алювій буває **русловим**, коли люклізований в межах русла та **заплавним** – формує плеса вище улізу води. Алювіальні відклади локалізовані вище заплави формують надзаплавні тераси. У верхів'ях річки відкладають крупноуламковий алювій, нижче по течії – дрібніший: спочатку гравій, потім пісок, суглинок, глина.

Всі три процеси можуть бути одночасними. Однак в верхів'ях, де долина ріки наймолодша, переважає регресивно-ерозійний процес, в середній течії – всі три, а в нижній – перенос і відкладення. Розмив, перенос і відкладення налюбій ділянці річки можуть значно змінюватись в залежності від швидкості течії і кількості води у річці.

Згідно теорії В.Девіса, у міру поглиблення долини річки проходить ряд стадій: юності (молодості), ранньої зрілості, пізньої зрілості, старості та омолодження. **На першій стадії юності (молодості)**, дно річки має значний ухил, потік володіє

великою швидкістю, що зумовлює інтенсивний розвиток донної ерозії. Долина V-подібна вузька, глибока, типу тіщини чи ущелини. Уламковий матеріал майже весь виноситься за межі водного потоку. Для русла річки притаманні відсутність заплав, постійне поглиблення, наявність порогів та водоспадів. Ця стадія розвитку притаманна для гірських річок або ярів.

У міру наближення русла до рівноважного профілю річка переходять в другу стадію свого розвитку – **ранньої зрілості**. У цю стадію вододільний рельєф досягає максимуму, V-подібна долина починає нівелюватись – у руслі починає формуватись заплава, осаджуються слабоокатані галька, гравій та пісок, а долина перестає поглиблюватись.

**У стадію пізньої зрілості** на усьому проміжку річки ухил стає ще меншим, а швидкість потоку знижується. V-подібна долина змінюється на U-подібну, заплава розширюватись, звороти починають заокруглюватись. У цю стадію рельєф інтенсивно еродує, осадконакопичення зростає, глибинна ерозія змінюється на бічну і ріка починає блукати (меандрувати).

**У четверту стадію – старіння**, річка розмиває свої береги, долини стають широкі та пологі. русло по дну долини інтенсивно меандрує. Уламковий матеріал в більшій своїй частині осідає в руслі. Річка міліє, з'являються плеса, переكاتи, коси. Ландшфт пеніпленежується та набуває майже плоскої поверхні. Стійкі породи залишаються як ерозійні останці.

Послідовність стадійного розвитку річок порушується рухами земної кори (неотектонікою), які міняють висотне положення базису ерозії або верхів'їв річок. Опускання базису ерозії зумовлює **п'яту стадію – омолодження**, що повторює попередні.

На початкових стадіях розвитку річки переважає донна ерозія, яка триває до досягнення базису ерозії, тобто рівня басейну, у який відбувається впадіння. Саме базис ерозії визначає розвиток усього річкового басейну – головної ріки та її допливів усіх порядків. Первинний профіль дна русла річки, здебільшого, характеризується численними виступами, спричиненими наявністю виходів у руслі різних за стійкістю до розмивання гірських порід, наявністю на шляху руху річки невеликих озер. В процесі ерозійного врізання, річка, поглиблюючи русло, прагне подолати всі нерівності та виступи, які з часом згладжуються. Таким чином, поступово виробляється більш рівна вигнута крива, або рівноважний профіль річки, що проходить стадії ранньої та пізньої зрілості і є результатом регресивної ерозії та прогресуючого акумулювання алювіальних відкладів. В кінцевому результаті русло поглибиться настільки, що замість первинного прямолінійного профілю, виробиться плавна крива лінія, яка і рівноважним профілем річки. Вважається, що цей профіль відповідає на кожному відрізку долини ріки динамічній рівновазі при існуючих гідрологічних умовах та постійному базисі ерозії.

**Число Рейнольдса** — безрозмірна пропорція яка визначає ламінарний чи турбулентний режим течії води. Число Рейнольдса вважають критерієм подібності потоків.

Число Рейнольдса визначається співвідношенням:

$$R = (\rho * V * L) / \mu,$$

де  $\rho$  – густина,  $V$  – характерна швидкість,

$L$  – характерний розмір (діаметр труби, переріз річки),

$\mu$  – динамічна вязкість.

Перехід від ламінарної до турбулентної течії відбувається при досягненні так званого критичного числа Рейнольдса –  $R_{кр}$ .

При  $R < R_{kr}$  потік тече в ламінарному режимі, при  $Re > R_{kr}$  – виникає турбулентний потік. Для водного потоку значення числа Рейнольдса рівне 2300 визначає ламінарний (при  $R < 2300$ ) чи турбулентний режим (при  $R > 2300$ ).

**Ламінарний рух** – це форма руху води, що характеризується паралельнострумчатою структурою потоку. В умовах ламінарного руху обміну між сусідніми шарами рідини не відбувається. Швидкість течії біля стінок, які обмежують потік, рівна нулю. Сила внутрішнього тертя (опору руху) і, отже, швидкість течії залежать від фізичної (молекулярної) в'язкості рідини. Опір руху пропорційно залежить від першої ступені швидкості. Чим вище в'язкість рідини, тим більше буде притаманний їй ламінарний рух. Ламінарний рух може зберігатися тільки до значення критичної швидкості течії. Критична швидкість течії встановлюється для конкретних потоків в залежності від критичного значення числа Рейнольдса. За межами критичної швидкості ламінарний рух перетворюється на турбулентний.

**Турбулентний рух** – це рух, при якому потоки води переміщуються в генеральному напрямку течії і одночасно відхиляються від неї по складних викривлених траєкторіях. Характерною властивістю турбулентного руху рідини є пульсація швидкості і тиску, тобто безперервно відбуваються їх зміни в кожній точці потоку. Ці пульсації мають до певної міри випадковий характер. Пульсаційний рух обумовлює обмін суміжних потоків води або процес турбулентного перемішування.

**Лінійна (яружна) ерозія.** Лінійна (яружна) ерозія починається з утворення промоїн та дрібних ярів – біля підніжжя схилу, там де енергія спрямованого потоку найбільша. Звідси починається трансформація промоїн у яри. По них вода стікає з численних дрібних улогов, які всі разом створюють водозбірний басейн. Глибина промоїн переважно від 0,3 до 1,5 м, а ширина – від 0,5 до 5 м. Поздовжній профіль дна промоїни, яка має по всій довжині невелику глибину, повторює профіль схилу річкової долини чи балки. Яр своїм дном врізається у схил значно більше і тому його профіль буде увігнутим.

#### **Стадійність лінійної (яружної) ерозії.**

Після того, як утворилася промоїна (або вибоїна), починається формування яру, у розвитку якого виділяють 3 стадії:

- 1) врізання висячого яру (його гирло знаходиться на схилі) вершиною;
- 2) вироблення профіля рівноваги;
- 3) затухання.

Оскільки яри бувають довжиною у кілька кілометрів, вздовж нього можна спостерігати різні стадії його розвитку: у верхній частині – першу стадію, в середній – другу, а в нижній – третю.

Стадія врізання висячого яру вершиною починається після того, як у його вершині (або вздовж промоїни) утворюється крутий або навіть вертикальний перепад повздовжнього профіля. З цього моменту яр росте вверх проти течії в результаті обвалів і розмиву пухких порід. Стрімкий потік води падає з висоти переважно від 2 до 10 м, утворюючи котел вибивання. Утворений над ним карниз через деякий час обвалюється і поки утвориться новий котел – породи інтенсивно розмиваються потоком. У такий спосіб (регресивною ерозією) яр може вирости до кількох км у довжину. В цей час відбувається також розмив яру у ширину (бокова ерозія) і у глибину (глибинна ерозія). По мірі зменшення площі водозбірного басейну ріст яру уповільнюється і біля вододілу ерозія припиняється.

Стадія утворення профіля рівноваги починається відтоді, коли яр, поглиблюючись, втрачає своє висяче гирло – тобто після того, як він перестав бути висячим. А це означає, що гирло (а воно тут є, як і в річки) доходить до рівня місцевого базису ерозії і нижче не врізається. Місцевим базисам ерозії може бути рівень водосховища, озера, річки, дна балки тощо. В цій стадії профіль дна яру набуває увігнутої форми і наближається профіля рівноваги, який більш більш характерний для річкових долин рівнинного типу.

Отже, упродовж другої стадії яр виробляє своє дно до максимально можливої глибини і глибинна ерозія в кінці стадії припиняється. Але розширення яру ще триває: обвалюються його стінки, а потік розмиває обвалені породи. Проте, через певний час біля підніжжя вертикальних стінок нагромаджується багато порід, які потік не завжди виносить. Відстань між стінками у верхній частині поперечного профіля яру в цей час все більше розширюється і він стає V-подібним.

Стадія затухання яру характеризується повільним зменшенням крутизни стінок, розширенням його дна за рахунок меандрування (зміщення) водного потоку, поступовим заростанням схилів травною, чагарниками і деревами, початком формування ґрунтового покриву. Після закінчення цієї стадії яри перетворюються у балки.

### **Шляхи забезпечення екологічної безпеки в умовах загрози прояву лінійної (яружної) ерозії.**

Боротьба з площинним змивом ґрунтового покриву на одних ділянках ведеться, як правило, шляхом поєднання агро-, лісо- і гідромеліоративних заходів ("меліорація" з лат. *melioratio* – поліпшення). Вони зводяться до регулювання поверхневого стоку, яке у більшості випадків зводиться до висаджування науково обґрунтовується висаджування лісосмуг (певної ширини і відстані між ними), насипанні валів і викопуванні фільтруючих каналів, які затримують, відводять або поглинають поверхневі води. Важливе значення у боротьбі з ерозією ґрунтів належить вірно підібраній системі обробітку ґрунту, застосуванню сівозмін, вдало вибраним посівним культурам та застосуванню таких агротехнічних протиерозійних прийомів: оранки і культивації поперек схилів, збільшення або зменшення її глибини, обвалування на зиму тимчасовими валиками (висотою 15-25 см), регулювання висоти стерні тощо. Добре зберігають ґрунт від змивання посіви багатолітніх трав. Лісосмуги можуть зменшити змив ґрунтів у 4 рази.

Боротьба з ярами ведеться в залежності від стадії їх утворення: на першій стадії – вирівнюванням оранкою чи дорожньою технікою та засипанням вручну промоїн (вибоїн). А якщо навколо промоїни уже утворились схили – то їх найкраще засіяти багатолітніми травами. Коли вони уже стали великими – рекомендується робити плетені загороди (з кілків і гілок) або загати з будь-яких міцних порід (вапняків, пісковиків, тощо). І оскільки ці ділянки з орної площі уже виключаються – навколо них висаджують дерева.

На другій стадії боротьба з ярами ускладнюється: будуються розпилювачі потоків (вали, валики, канали), водовідвідні і швидкотічні лотки, підпирні стінки у верхів'ях яру, на дні споруджуються загати і плетені загороди та висаджуються дерева підібраних видів. Потрібно зробити все, щоб припинити, перш за все, глибинну ерозію, яка в цій стадії найбільш активна.

На третій стадії боротьби з ярами донні споруди потрібні для того, щоб не допустити меандрування потоку (а значить і бокового розмиву) та для накопичення пухких наносів, які покращують ріст насаджених на дні яру дерев. Регресивну

ерозію припиняють залізобетонними лотками – швидкотоками.

На четвертій стадії яроутворення продовжується боротьба з боковою ерозією (обмежується меандрування потоку), закріплюються схили висадкою дерев і кущів, засіваються трави, виположуються стінки яру (бульдозерами) до крутизни природної рівноваги ( $35-40^\circ$ ), а потім (в разі потреби) – строго горизонтально виробляються тераски. Іноді схили глибоких ярів виположують за допомогою направлених вибухів. Для цього навколо яру бурять свердловини, в які закладають вибухівку і після відповідної підготовки проводять вибух. Після всіх технічних робіт схили засаджують деревами і чагарниками та засівають травами.

Коли схили яру самостійно виположуються до крутизни, що не перевищує кута стійкого природного схилу (а він різний у різних осадових порід), на ньому починає формуватись ґрунтовий покрив.

Загалом забезпечення екологічної безпеки в умовах ерозійного розмиву зводиться до:

- 1) забезпечення водовідведення;
- 2) влаштування штучного насипу (основи ґрунту);
- 3) формування верхнього шару ґрунту;
- 4) засадження рослин з розвиненою кореневою системою.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

### Базові підручники.

1. Буравльов Є. П. Основи сучасної екологічної безпеки.— К., 2000. – 236 с.
2. Буравльов Є. П. Безпека навколишнього середовища. — К., 2004. – 320 с.
3. Бурков В.Н., Щепкин А.В. Экологическая безопасность. М.: ИПУ РАН, 2003. – 92 с.
4. Качинський А. Екологічна безпека України: системний аналіз перспектив покращення. – К.: НІСД, 2001. – 312 с.

### Основна література

5. Гайченко В.А., Тордій Н.В. Навчальна програма дисципліни "Екологічна безпека" (для спеціалістів, магістрів) // МАУП. – Київ 2006. 15 с.
6. Гринин А.С., Новиков В.Н. Экологическая безопасность. Защита территории и населения при чрезвычайных ситуациях: Учебное пособие. – М.: ФАИР-ПРЕСС, 2000. – 336 с.
7. Конституція України, 28 червня 1996 р. – К., 1996.
8. Методичні вказівки до виконання обов'язкового домашнього завдання з курсу «Основи створення екологічно безпечних технологій»/ Укладачі О.П. Будьоний, О.С. Мельник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – 29с.
9. Родионов А.И., Клушин В.Н., Систер В.Г. Технологические процессы экологической безопасности (основы энвайроменталистики) // Калуга: Изд-во Бочкаревой. – 2000. – 799 с.

### Додаткова література

10. Антонов В.П. Уроки Чернобыля: радиация, жизнь, здоровье. –Киев, Знание , 1989.
11. Антипенко Е.Н., Когут Н.Н. Генетические последствия загрязнения окружающей среды и перспективы их предупреждения. К. , 1990 .
12. Бариляк И. Р., Бужиевская Т.И., Быкорез А.И. и др. Генетические последствия загрязнения окружающей среды // АН УССР, Ин-т молекулярной биологии и генетики. Киев: Наук. думка, 1989. – 232 с.
13. Боженков П.И. Комплексное использование минерального сырья и экология: Учебное пособие. – М.: Изд-во АСВ, 1994. 264 с.
14. Голубець М.А. Від біосфери до соціосфери. –Львів, 1987.
15. Гулякин В.Б., Полулях С.Н. Компьютерное моделирование в экологии: Учеб. пособие. Под ред. д.ф.-м.н.,проф.Бержанского В.Н. – Симферополь: Таврический экологический институт, 1999. – 30 с.
16. Доценко И. И. и др. Химическая промышленность и охрана окружающей среды. Киев, 1986.
17. Дробноход М. І., Вольвач Ф. В., Дрюканов В. Г. та ін. Стійкий екологічно безпечний розвиток і Україна: Навч. посіб. — К., 2002. – 104 с.
18. Загоскин П. П. и др. Ксенобиотики и обезвреживающая функция печени. В сб: Медицинские проблемы экологии. Н-Новгород, 1992, с. 29-37.
19. Засухина Г. Д. ,Синельщикова Т. А. Проблема защиты клеток человека от мутагенов окружающей среды. -В кн.: Наследственность человека и окружающая среда. -М.: Наука, 1992. -с. 167-178.
20. Золотарев Г.С. Инженерная геодинамика./ Учебник – М., изд-во МГУ, 1983. – 328 с.



21. Кривошеин Д.А. Муравей Л.А., Роева Н.Н., Шорина О.С.,
22. Эриашвили Н.Д., Юровицкий Ю.Г., Яковлев В.А.
23. Ларичев О., Мечитов А., Ребрик С. Анализ риска и проблемы безопасности. – М., 1990. – 60 с. (Препр. / ВНИИСИ).
24. Лукашев К.И. и др. Человек и природа (геохим. и эколог. аспекты рацион. природопользования) / АН БССР, Ин-т геохимии и геофизики. – Минск: Наука и техника, 1984 – 295с.: ил.
25. Майстренко В.Н. и др. Эколого-аналитический мониторинг супертоксикантов. – М.: Химия, 1996 – 319с.
26. Маршалл В. Основные опасности химических производств. – М. : Мир, 1989. – 672 с.
27. Моисеев Н. Н. Человек и ноосфера. – М.: Мол. гвардия, 1990. – 351 с.
28. Надзвичайні ситуації. Основи законодавства України. – К., 1998. – 544 с.
29. Основы защиты населения и территории в чрезвычайных ситуациях /под ред. В.В.Тарасова. –М.: Изд-во МГУ, 1998.
30. Остроумов С.А. Введение в биохимическую экологию. – М.: Изд-во ун-та, 1986 – 176с.
31. Про охорону здоров'я: Закон України. – К., 1992.
32. Про пожежну безпеку: Закон України. – К., 1993.
33. Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення: Закон України/Відомості Верховної Ради України. – 1994. – № 27.
34. Про захист людини від впливу іонізуючих випромінювань: Закон України від 14.01. 1998 р. – К., 1998.
35. Радиация: дозы, эффект, риск. – М.: Мир, 1988.
36. Руднев А.В. Радиационная экология / МГУ им. М. В. Ломоносова. – М.: МГУ. Изд-во МГУ, 1990 – 87с.: ил.
37. Тинсли И. Поведение химических загрязнителей в окружающей среде. М.: Мир, 1982.
38. Экология, охрана природы и экологическая безопасность. М., МНЭПУ, 1997.

## **Навчальне видання**

*Навчальний посібник  
для вивчення курсу  
«Екологічна безпека». Частина 1  
для студентів 2-го курсу спеціальності б. 070801  
“Екологія та охорона навколишнього середовища”*

Комп'ютерне верстання

Прокопович С.

Віддруковано в Друкарні ЛНМУ імені Данила Галицького  
Підп. до друку 30.05.11. Зам. № 1105-30  
Формат 60x84/16. Папір офс.  
Гарнітура Times New Roman Cyr.  
Тираж 300 пр.