**Міністерство освіти і науки України**
**Одеський державний екологічний університет**

**Т.А. Сафранов**

# ОЦІНКА ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ҐРУНТИ І ПІДЗЕМНІ ВОДИ

**Конспект лекцій**
**для студентів спеціальності**
**«Екологія та охорона навколишнього середовища»**

**Одеса - 2002**

УДК 502.7:54:56

Надруковано за рішенням Вченої ради Одеського державного екологічного університету як конспект лекцій з дисципліни «Оцінка техногенного впливу на ґрунти і підземні води» для студентів спеціальності «Екологія та охорона навколишнього середовища» (протокол № від жовтня 2002 р.)

**Рецензенти:**

Ларченков Є.П. – доктор геолого-мінералогічних наук, професор, завідуючий кафедрою загальної і морської геології Одеського національного університету ім. І.І. Мечникова

Берлінський М.А. – кандидат географічних наук, завідуючий відділом Одеської філіалу Інституту біології південних морів НАН України

**Т.А. Сафранов. Оцінка техногенного впливу на ґрунти і підземні води. Конспект лекцій для студентів спеціальності «Екологія та охорона навколишнього середовища». – Одеса: ОДЕКУ, 2002. –**

В конспекті лекцій висвітлені основні положення екологічної геології, розглянути особливості техногенного впливу на родючі ґрунти і геологічне середовище, а також основні причини і негативні наслідки антропогенного забруднення підземних вод і показники оцінки їх природної захищеності. Може бути використаний студентами спеціальності «Екологія та охорона навколишнього середовища» при вивчені дисципліні «Оцінка техногенного впливу на ґрунти і підземні води».

**З М І С Т**

**УМОВНІ СКОРОЧЕННЯ.....4**

**ВСТУП.....…… 5**

**1 ЗАГАЛЬНІ УЯВЛЕННЯ ПРО ГЕОЛОГІЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ ТА ЙОГО ЕКОЛОГІЧНІ ФУНКЦІЇ.....…….5**

**2 КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ЕКОЛОГО-ГЕОЛОГІЧНОГО СТАНУ ТЕРИТОРІЙ.....20**

**3 ОСНОВНІ ПРИЧИНИ ТА НЕГАТИВНІ НАСЛІДКИ ЗАБРУДНЕННЯ ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА…….....38**

**3.1 Основні форми техногенного порушення і забруднення геологічного середовища.....38**

**3.2 Основні причини та негативні наслідки техногенного забруднення ґрунтів.....40**

**3.3 Особливості забруднення ґрунтів при розміщенні промислових відходів..... 48**

**3.4 Особливості техногенного забрудненості ґрунтів днозаглиблення.....50**

**3.5 Принципи оцінки екологічного ризику техногенних змін геологічного середовища.....54**

**4 ОСНОВНІ ПРИЧИНИ ТА НЕГАТИВНІ НАСЛІДКИ ТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД .....56**

**4.1 Забруднення підземних вод під впливом накопичувачів рідких відходів..... 64**

**4.2 Оцінка впливу забруднених атмосферних опадів на склад ґрунтових вод .....71**

**4.3 Гідрогеологічне обґрунтування границь техногенно-геологічних систем..... 75**

**5 ОЦІНКА ЗАХИЩЕНОСТІ ПІДЗЕМНИХ ВОД ВІД ТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ..... 77**

**5.1 Оцінка забрудненості ґрунтових вод та ґрунтових масивів за допомогою розрахункових моделей масопереносу.....78**

**5.2 Оцінка ступеня захищеності ґрунтових вод від техногенного забруднення.....79**

**5.3 Оцінка ступеня захищеності напірних вод від техногенного забруднення ..... 84**

**ЛІТЕРАТУРА.....88**

## УМОВНІ СКОРОЧЕННЯ

НПС - навколишнє природне середовище
ГС – геологічне середовище
ПЧЛ – при поверхнева частина літосфери
ПТС - природно-технічна система
ТГС – техногенно-геологічна система
ПР – природні ресурси
ЕС- екологічна система
ЖР – жива речовина
ЗР- забруднююча речовина
ІС – інженерна споруда
ГДК - гранично допустима концентрація
ОДК – орієнтовно допустима концентрація
ГПР – гранично припустимий рівень
ГДР - гранично допустимий рівень
ГДВ – гранично допустимий викид
ГДС - гранично допустимий скид
ПАН – пероксиацетилнітрат
ПХБ – поліхлорбіфенили
ХОП – хлорорганічні пестициди
ФОП – фосфорорганічні пестициди
ДДТ – діхлордіфенілтрихлоретан
ГДС – гранично допустимий скид
БСК – біохімічне споживання кисню
СПАР – синтетичні поверхнево-активні речовини
ЛОШ – лімітуюча ознака шкідливості
ПВ – підземна вода
ГВ – ґрунтова вода
ВГ – водоносний горизонт
ТПВ – тверді побутові відходи
НРБ – норми радіаційної безпеки
НП – нафтопродукти
СПЗ – сумарний показник забруднення
ПЗЗ – показник схильності до забруднення
ПЗ – показник захищеності

# ВСТУП

Взаємодія людини з навколишнім природним середовищем (НПС), включаючи верхні шари літосфери, - проблема не нова, і вона іде своїми коренями в далеке минуле. Частиною природи є геологічне середовище (ГС). Розвиток еколого-геологічних досліджень потребує реалізації нових методичних напрямків, які дозволили б здійснити управління станом ГС (охороною, оптимальним використанням та захистом). Природні і техногенні зміни, які проходять в ГС, приводять до активного енергомасопереносу і виражаються в геологічних процесах. Збільшення техногенного навантаження супроводжується різким посиленням небезпечних геологічних процесів. У зв'язку із цим особливо важливе значення має аналіз і оптимізація взаємодії в системі «живі організми – геологічне середовище».

Вплив техногенної діяльності на ГС характеризуються складністю, що обумовлюється особливостями геологічної будови територій, різноманіттям ендогенних і екзогенних процесів. Геологічні умови територій є один із головних факторів, що визначає умови розселення, розподіл виробничих сил, інфраструктуру і ступень розвитку економіки. Практично всі еколого-геологічні проблеми носять комплексний характер і потребують вивчення всього ланцюгу складних взаємних зв'язків між компонентами ГС і НПС.

Відносно спокійне співіснування людини і природи закінчилося до початку XVШ сторіччя, коли почалася епоха техногенезу. У цьому зв'язку необхідно визначити про неминучість екологізації практично усіх наук. Процеси екологізації проявилися й у геологічних науках; сформувалася *екологічна геологія,* що вивчає верхні шари літосфери як одні із основних абіотичних компонентів екосистем (ЕС) високого рівня організації [1, 2].

Слід зазначити, що при оцінці екологічної ситуації територій зазвичай недостатньо враховується роль «геологічної матриці» у функціонуванні живих організмів і людського суспільства. У цьому зв'язку еколого-геологічна оцінка територій і їхніх окремих частин представляється дуже актуальною задачею.

Екологічні кризи, деградація і часткове вимирання біоти – наслідок порушення екологічних функцій літосфери в процесі прогресуючого техногенезу.

Таким чином, не тільки глобальні фактори (кислотні опади, підвищення температури приземного шару атмосфери, озонові «діри» і ін.) визначають рівень екологічної комфортності, але і стан «геологічної матриці».

В навчальному посібнику (конспекту лекцій) розглядаються екологічні функції літосфери і принципи оцінки техногенного впливу на ґрунти та підземні води (ПВ).

# 1 ЗАГАЛЬНІ УЯВЛЕННЯ ПРО ГЕОЛОГІЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ ТА ЙОГО ЕКОЛОГІЧНІ ФУНКЦІЇ

Частина літосфери, а точніше земної кори, що безпосередньо виступає як мінеральна основа біосфери, є одним із найважливіших компонентів НПС, з кінця 70-х років XX сторіччя виділяється за назвою «*геологічне середовище*». ГС розглядається як частина земної кори, взаємодіюча з різними інженерно-господарськими об'єктами чи інженерними спорудами. Під *інженерними спорудами* (ІС) розуміються будь-які техногенні об'єкти, створені людиною в межах ГС чи на її поверхні, включаючи відкриті чи підземні виїмки. Самі ІС є джерелом техногенного впливу на ГС чи його складові. Взаємодія інженерних споруд із ГС визначається напрямом типу споруд з типом ГС: геологічна матриця функціонує за своїми природними законами, а ІС – за технічними. Сукупність інженерної споруди з частиною ГС у зоні їх впливу, що мають фіксовані межі, називається *природно-технічною системою* (ПТС). ПТС охоплює деякий простір, що включає власне технічну систему, а також деяку частину ГС (більш широко – НПС) у межах зони впливу технічної системи на ГС.

Під ГС розуміється верхня частина літосфери, що розглядається як багатокомпонентна система, яка перебуває під впливом інженерно-господарської діяльності людини і, у свою чергу, певною мірою визначає цю діяльність [3]. Слід зазначити, що відповідно до сучасних уявлень літосфера містить у собі земну кору і відділену від неї межею Мохоровичича тверду верхню частину мантії Землі. Потужність земної кори досягає 30-60 км під континентами і 5-10 км під океанами. Зверху земна кора обмежена атмосферою і гідросферою, що у неї частково проникають.

Верхньою межею ГС є денна поверхня; нижня границя ГС неоднорідна по глибині в різних областях Землі. Вона визначається глибиною техногенного впливу в ході різних видів господарської діяльності; максимальна глибина техногенного впливу усе більш зростає і на даний час надглибоке буравлення досягає майже 12 км. У більшості випадків (наприклад, у міських агломераціях) глибина техногенного впливу складає кілька чи десятки сотень метрів. У ГС включаються ґрунти і верхні шари гірських порід (породи зони аерації і зони насичення), які розглядаються як багатокомпонентні системи. Необхідно відзначити, що межі ГС змінюються не тільки в просторі, але й у часі в мірі розвитку техногенних процесів і техногенезу в цілому. Що до ГС, то її зовнішніми середовищами є атмосфера, поверхнева гідросфера (поверхневі води), поверхневі біоценози і власне техносфера, що включає усі види інженерних споруд і господарських об'єктів. Внутрішніми складовими частинами ГС є: 1) ґрунти і штучні (техногенні) ґрунти, будь-які гірські

породи, що складають масиви тієї чи іншої структури і розглянуті як багатокомпонентні динамічні системи; 2) рельєф і геоморфологічні особливості розглянутої території; 3) підземні води; 4) геологічні і інженерно-геологічні процеси і явища, які розвинуті на даній території. У речовинному відношенні особливість ГС як підсистеми полягає в тім, що поряд із природними поширені речовини антропогенного генезису, які є продуктами функціонування технічних систем чи речовинами об'єктів техносфери [4]. Деякі дослідники в ГС включають не лише гірські породи і ґрунти, але і приповерхневі води і біоту.

В.Т. Трофимов і ін. [1] замість терміну «геологічне середовище» увели поняття *«приповерхня частина літосфери»* (ПЧЛ), виключивши в неї приповерхні води і ґрунти. У їхньому трактуванні верхня границя літосфери проходить по підошві гумусового шару ґрунту. Однак, якщо ґрунти розглядати як геохімічний бар'єр на шляху міграції техногенних забруднюючих речовин (ЗР), то вони є частина ГС.

ГС в цілому, так само як будь-яку його частину, геологічне тіло, можна розглядати як систему. Системи, елементи яких повинні повністю або в основному бути представлені твердими, рідкими або газоподібними компонентами ГС, називаються *геологічними системами* , які розділяються на *природні* і *природно-техногенні системи* (ПТГ) [5].

Проблема техногенезу і змін ГС настільки складна, що в геохронологічній шкалі пропонується ввести нова період: після четвертинного періоду (антропогену) рекомендується виділити *п'ятиринний період* або *техноген*. Значна частина антропогенної діяльності обмежується літосферою. Умови взаємодії людини з довкіллям в межах ГС контролюються ендогенними, екзогенними, геохімічними та гідродинамічними процесами, які можуть бути природними і техногенними (табл. 1.1). Окремі геологічні явища можуть бути відтворені техногенною діяльністю людини [5].

Розрізняють впливи на ГС фізичної, фізико-хімічної, хімічної і біологічної природи [4]. Для кількісної оцінки стійкості ГС додатково до техногенного впливу пропонується використовувати *коефіцієнт стійкості* ($K_c$), значення якого змінюється від 0 до 1. У випадку, коли зниження еколого-геологічної якості системи супроводжується зменшенням якого-небудь показника (наприклад, мінералізації ПВ при їхньому опрісненні), величина коефіцієнту стійкості визначається як

$$K_c = N_t / N_o, \qquad (1.1)$$

де $N_t$ - показник будь-якої ознаки чи ґрунту іншого компонента ГС, що зазнав техногенного впливу; $N_o$ – той же показник до впливу.

Таблиця 1.1 – Співставлення природних і техногенних процесів [5]

| Природні геологічні процеси (вплив геологічних, космічних та біологічних факторів) | Техногенні геологічні процеси (діяльність людини) |
|---|---|
| **1** | **2** |
| ***Екзогенні геологічні процеси*** (відбуваються на поверхні Землі під впливом випромінювання Сонця, води і льоду, метеоритного бомбардування) | |
| 1. Поступове зменшення "парникового ефекту", починаючі з протерозою внаслідок зменшення парів $H_2O$ і $CO_2$ та підвищення ролі $O_2$ | 1. Надзвичайне збільшення "парникового ефекту", починаючі з кінця XIX сторіччя внаслідок постійно зростаючого використання палива |
| 2. Трансгресії в інтергляціалах внаслідок потепління і танення льодовиків | 2. Трансгресії при таненні континентальних льодовиків внаслідок техногенного нагрівання атмосфери Землі |
| 3. Фізичне вивітрювання | 3. Подрібнення порід в гірничій промисловості, будівництві і т.п. |
| 4. Хімічне вивітрювання | 4. Зміна речовини в результаті хімічних технологій |
| 5. Рельєфоутворення | 5. Зміни рельєфу при утворенні гірничопромислових ландшафтів і будівництві міст, споруд, інженерних комунікацій |
| 6. Денудація | 6. Зрізання ґрунту при будівництві, денудація ґрунтів при утворенні штучних схилів |
| 7. Субаеральна акумуляція | 7. Підсипка ґрунту при плануванні для будівництва споруд та комунікацій |
| 8. Ґрунтоутворення | 8. Зміни ґрунтів при їх механічній обробці, внесенні добрив і вирубці лісів, створенні штучних ґрунтів при рекультивації ґрунтів |
| 9. Розвиток повздовжнього профілю річки | 9. Зупинення розвитку повздовжнього профілю річки при гідротехнічному будівництві |
| 10. Річкова ерозія і субаквальна акумуляція | 10 Зміна в процесі розподілу річкових наносів при гідротехнічному будівництві |
| 11. Міандрування річок | 11. Випрямлення русел річок |
| 12. Берегові процеси – абразія і переміщення літоральних відкладів під впливом течій | 12. Захист берегів і зміни в розподілі літоральних відкладів при портовому будівництві |
| 13. Зміни положень берегової смуги під впливом хвиль, прибійного потоку і вздовж берегових течій | 13. Зміни положень берегової смуги при захисті берегів і освоєнні нових земель на шельфі |
| 14. Опускання земної поверхні при розвитку карсту (полья) | 14. Опускання земної поверхні над підземними виробками і при відкачці води, експлуатації нафтових і газових родовищ |

*Проводження таблиці 1.1*

| 1 | 2 |
|---|---|
| 15. Коливання рівня ґрунтових вод при змінах кліматичних умов | 15. Зміни рівня ґрунтових вод при осушенні, зрошуванні, підтопленні, відкачці ґрунтових вод |
| 16. Карстоутворення | 16. Виникнення техногенно обумовленного карсту, швидкість розвитку якого у сотні і тисячі разів вища за швидкість його природних аналогів |
| 17. Утворення підземних річок в карстових областях | 17. Спорудження гідротехнічних тунелів |
| 18. Утворення обвалів, зсувів і селів в процесі денудації | 18. Утворення обвалів, зсувів і селів в процесі розвитку парового і фільтраційного тисків, підрізці і навантаженні схилів, знищенні лісів |
| 19. Утворення зсувів і обвалів при землетрусах | 19. Утворення зсувів і обвалів при техногенних струсах схилів |
| 20. Осадонагромадження | 20. Утворення техногенних відкладів |
| 21. Мерзлоутворення | 21. Техногенне заморожування ґрунту |
| 22. Деградація вічної мерзлоти | 22. Утворення термокарсту |
| 23. Утворення метеоритних кратерів | 23. Створення глибоких кар'єрів при відкритій розробці корисних копалин |
| 24. Метеоритні зими | 24. Термоядерна зима |
| ***Ендогенні процеси*** (відбуваються в глибинах Землі під впливом радіоактивного й розпаду і внутрішнього тепла Землі) | |
| 1. Утворення самородних металів | 1. Отримання металів в металургії |
| 2. Теплоперенос в земній корі | 2. Використання підземного тепла в геотермічній енергетиці |
| 3. Нагрівання земної кори в результаті радіоактивного розпаду | 3. Використання енергії поділу ядер радіоактивних елементів в атомній енергетиці |
| 4. Сейсмічність, що викликана природними тектонічними процесами | 4. Техногенні землетруси при заповненні водосховищ |
| 5. Порушення, що викликані лавовими потоками | 5. Боротьба з лавовими потоками і захист від них |
| 6. Природний грязьовий вулканізм | 6. Техногенний грязьовий вулканізм |
| 7. Контактовий метаморфізм глинистих порід | 7. Отримання цегли, фаянсу, фарфору, кераміки |
| 8. Утворення конгломератів з карбонатним цементом | 8. Отримання бетону |
| 9. Утворення дайок | 9. Влаштування водонепроникнених завіс гідротехнічних споруд |
| 10. Утворення обсидіану | 10. Отримання скла |
| 11. Утворення алмазів, рубінів та корунду | 11. Отримання штучних алмазів, рубінів та корунду |
| 12. Концентрації металів при диференціації магми і гідротермальних процесах | 12. Збагачення руд |

У випадку, коли зниження якості системи характеризується збільшенням якого-небудь показника (наприклад, вмісту ЗР), $K_c$ визначається як

$$K_c = N_o / N_t \qquad (1.2)$$

За величиною коефіцієнту стійкості виділяються наступні категорії стійкості компонентів ГС до техногенного впливу: 1) дуже висока ($K_c$ = 1,0-0,95); 2) висока ($K_c$ = 0,95-0,8); 3) середня ($К_у$ = 0,8-0,5); 4) низька ($K_c$ = 0,5-0,1); 5) нестійка ($K_c$ = 0,1-0).

Під *еколого-геологічними умовами* слід розуміти сукупність конкретних властивостей (функцій) літосфери, що відображають умови існування живих організмів у даному обсязі літосфери як неживу основу їхнього перебування.

*Екологічна властивість літосфери* - одна зі сторін літосфери, її екологічно значимий атрибут, обумовлений природою її речовинного складу, геодинамічних, геохімічних і геофізичних полів і органічно зв'язаний з життєзабезпеченням біоти, умовами її існування і еволюції.

*Функції* ПЧЛ розглядаються з позицій життєзабезпечення й еволюції біоти і, головним чином, людського суспільства. Усе різноманіття функціональних залежностей між ПЧЛ і живими організмами зводяться до наступних груп: ресурсній, геодинамічній, геохімічній і геофізичній [1, 2.].

***Ресурсна екологічна функція літосфери*** визначає роль мінеральних, органічних і органо-мінеральних ресурсів, а також її геологічного простору для життя і діяльності біоти як біоценозу, так і людського співтовариства як соціальної структури.

*Ресурси літосфери, необхідні для життя біоти* (включаючи людину) мають бути представлені: 1) гірськими породами з біогенними елементами (C, H, O, N, Ca, S, P, Na, K, Mg, Cl і ін.); 2) *кудюритами* ( від алтайського слова «кудур», тобто солончак) – мінеральними речовинами кудюрів. Епізодично (1-2 рази на рік) вони уживаються з консументами (літофагами) з метою регуляції сольового складу організму; до них відносяться цеоліти, бентоніти, глауконіти, діатоміти – стимулятори росту багатьох живих організмів; 3) кам’яною (повареною) сіллю і підземними водами, які також є основою існування живої речовині. Важливу роль грають і мінеральні речовини літосфери в харчуванні рослин; наприклад, при підвищеному вмісту підземного $CO_2$ (активні тектонічні розломи, нафтогазоносні і вугленосні площі) відзначається більш «пишна» рослинність.

*Мінеральні ресурси, необхідні для життя і діяльності людського суспільства.* Існує п'ять основних категорій мінеральних ресурсів: паливно-енергетичні (нафта, конденсат, пальний газ, вугілля, бітумінозні сланці, торф, уран і ін.); чорні і легуючі метали (руди Fe, Mn, Cr, Ti, V, W

і Mo); кольорові метали (руди Cu, Co, Pb, Zn, Sn, Al, Sb і Hg); неметалічні корисні копалини (сірка, флюорит, каолін, барит, графіт, магнезит, галіт, будівельні матеріали і т. д.); підземні води різного призначення. За різними оцінками, нафти вистачить людському суспільству на 25-48 років, пального газу й урану – на 35-64 роки, вугілля – на 218-330 років. В даний час з надр видобувається близько 200 видів корисних копалин, що включають усі стабільні хімічні елементи (ХЕ), а річний обсяг світового видобутку мінеральної сировини досягає 17-18 млрд. т /рік [6]. При цьому варто враховувати не тільки об'єктивно зростаючі потреби людства в матеріалах і енергії, але і негативні наслідки техногенного впливу на ПЧЛ і на стан усього НПС. Щорічно у світі вноситься в ґрунти близько 100 млн. т азотних, фосфорних і калійних добрив; наприклад, втрати $P_2O_5$ на його шляху від мінералів до кореневої системи рослин складають 75-90%. Для боротьби з бур'янами використовуються 4-5 млн. т гербіцидів (більш 900 хімічних сполук), а в ґрунтах залишається більш 0,5 млн. т різних пестицидів, що зберігаються 10-12 років [*7*.]. У зв'язку із обмеженням ресурсів мінеральної сировини великий інтерес представляють «*техногенні родовища*» ( відвали розкривних і порід відпрацьованих родовищ, відходи гірничо-збагачувальних фабрик і т.д.). Щорічно на земній поверхні в техногенних масивах накопичується: заліза - 350, фосфора - 7,4, міді – 5,7, свинця – 2,8, барію – 2,5 млн. т, урана – 230, миш'яка – 190 і ртуті - 7,9 тис. т [8], утилізація яких дозволила б поліпшити екологічну ситуацію в багатьох регіонах.

Крім того, розглядаються *ресурси геологічного простору* під розселення й існування живих організмів (землерийні тварини, мікроорганізми, мешканці печер і ін.), так і діяльності людини на урбанізованих територіях, а також під об'єкти інженерно-господарської діяльності (у т.ч. для розміщення відходів). Доречно відзначити, що основна кількість (близько 75%) твердих побутових відходів (ТПВ) навіть у країнах з розвиненою економікою пов’язані з полігонами (смітниками), що у радіусі 300-400 м поширюють неприємні запахи, до 6000 м – токсичний дим (при горінні), на 2000-3000 м – забруднюють грунтово-рослинний покрив і ґрунтові води, до 2500 м – поверхневі води, до 150 м – гнітять рослинність і т.д. Ще більш негативні наслідки надає розміщення в ГС промислових і радіоактивних відходів. У цьому зв'язку для поліпшення екологічної ситуації велике значення має ефективність проведення робіт з рекультивації місць поховання відходів.

***Геодинамічна екологічна функція літосфери*** – функція, що відображує властивості літосфери впливати на стан біоти (біоценоз), безпеку і комфортність проживання людини через природні й антропогенні процеси і явища. З цих позицій можна виділити дві групи геологічних процесів для існування живих організмів (біонтів): несприятливі і катастрофічні. Небезпечні, у тому числі і катастрофічні процеси,

приводять до бід *локального* (зсуви, селі, лавини, карстові провали й ін.), *регіонального* (землетруси, цунамі, виверження вулканів, повені, посухи й ін.) і *планетарного* (опустелювання, рух тектонічних плит і ін.) масштабів. *Власне небезпечні процеси* («повзучі катастрофи») через деградацію ЕС приведуть до людських жертв, чи до необхідності відселення людей на інше місце проживання (це, наприклад, посухи і дефляція). *Катастрофічні процеси* не обов'язково приводять до людських жертв, хоча є причиною екологічного нещастя (наприклад, «чорні землі» у Калмикії, де через надмірний випас худоби і дефляції за 5-10 років майже цілком деградований гумусовий шар). Іноді дефляція супроводжується процесом засолення ґрунтів і деградацією ЕС, що приводить до різкого погіршення умов життя населення (наприклад, райони південного Приаралля). *Катастрофа* означає раптову подію, швидкоплинний процес, що приводить до важких наслідків, руйнувань і жертв; це різка зміна структури системи (ЕС), що приводить до руйнування якої-небудь її області [9]. Таке визначення стосовно геологічних процесів досить суб'єктивне для людини, тому що для різних територій, що відрізняються рівнем господарського освоєння, чисельністю населення і типом інженерних споруджень, той самий процес рівної потужності (інтенсивності) може класифікуватися як катастрофічний і несприятливий. Наприклад, повільноплинні процеси (регресія чи трансгресія моря, опустелювання та ін.), що виявляються на великих територіях протягом багатьох років, не спричиняє катастроф, як і сильні землетруси в малонаселених районах з легкими переносними житлами. За даними ЮНЕСКО більш 0,5 млрд. людей проживає в районах з частою повторюваністю катастрофічних землетрусів. *Несприятливі геологічні процеси* негативно впливають безпосередньо на комфортність проживання людини і біоти чи на необоротні компоненти середовища їх проживання, але не представляють безпосередньої погрози їх життю і місцю існування (наприклад, заболочування, карст, абразія, суфозія, яружна ерозія і т.д.). Більш 25% населення світу живе в районах, підданих значному ризику від стихійних лих. Щорічно відбувається в середньому 50 ураганів, 15-20 великих повеней, 20 сильних землетрусів і т.д. Процеси і явища, що представляють безпосередню погрозу існуванню біоти (у тому числі й людині) утворять наступний ряд (щодо зменшення негативного впливу): землетруси - виверження вулканів - цунамі - зсуви - селі - лавини - обвали, провали. Процеси і явища, що не несуть безпосередньої погрози існуванню біоти, але негативно віддзеркалювані на умовах життєзабезпечення людини: новоутворення і деградація мерзлоти - дефляція - заболочування – термокарст - водяна ерозія площинна - суфозія. Збиток від небезпечних геологічних процесів лише в Росії складає 16-19 млрд. доларів США на рік; тільки від ерозії наноситься збиток, оцінюваний у 2 млрд. доларів [10].

Планетарні і регіональні структури земної кори, зв'язані з зонами глибинної тріщинуватості, високою проникністю і деформованим станом середовища називаються *геодинамічними зонами* [11]. З цими зонами пов'язані пояси мінеральних ресурсів, геохімічні і геофізичні поля, тобто вони мають полігенний вплив на біоту. Сучасні *геодинамічні аномалії* – це локальні ділянки земної кори з аномальними за інтенсивністю й імпульсивністю проявами геодинамічних процесів. Геодинамічні аномалії, як активізатори геологічних процесів, безпосередньо впливають на біоту. Самі по собі геодинамічні аномалії не несуть будь-якої екологічної небезпеки, але коли потенційно екологічно небезпечні об'єкти (АЕС, нафтогазові комплекси, трубопроводи, полігони відходів і ін.) з'являються в зоні їхнього впливу, то порушується стійкість цих техногенних об'єктів і виникають аварійні ситуації.

Безпосередня загроза життю людей виникає при визначеній інтенсивності прояву геологічного процесу (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 - Катастрофічні і несприятливі наслідки прояву геологічних і інших природних процесів для людини в залежності від їхньої інтенсивності [2]

| Характеристика процесу | | | | Наслідок процесу | |
|---|---|---|---|---|---|
| Найменування | Назва шкали | Вимірюваний параметр | Число градацій за інтенсивністю | Катастрофічні при інтенсивності | Несприятливі при інтенсивності |
| Землетруси | MSK-64 | Струс поверхні землі | 12 | 9-12 | 1-8 |
| Цунамі | Амбрейсиза | Амплітуда хвилі | 6 | 5-6 | 1-4 |
| Річкові повені | За рівнем підйому води | Рівень підйому води і площа затоплення | 4 | 2-4 | 1 |
| Виверження вулканів | За радіусом дії | Ступінь механічного, термічного і хімічного впливів | 3 | 3 | 1-2 |
| Селі | За обсягом | Обсяг винесеного матеріалу | 4 | 4 | 1-3 |
| Зсуви | За швидкістю зсуву | Швидкість зміщення | 3 | 3 | 1-2 |

Оцінка впливу геологічних, других природних і техногенних процесів на ЕС у цілому і людину зокрема може оцінюватися за комплексом критеріїв: 1) критерії і показники геодинамічні, що оцінюють масштаб і інтенсивність розвитку геологічних процесів; 2) критерії і показники, що характеризують несприятливі зміни абіотичних компонентів ландшафту і його літогенної основи в результаті активно діючих геологічних процесів; 3) критерії і показники біологічні, що характеризують зміну різних представників біоти і їх комплексу в цілому; 4) критерії і показники соціально-економічні [2].

***Геохімічна екологічна функція літосфери*** визначає властивості геохімічних полів природного і природно-техногенного походження впливати на стан біоти в цілому і людське співтовариство зокрема. Об'єктом і предметом геохімічної складової розглядаємої функції є речовинний склад літосфери, питання міграції рухливих форм ХЕ, взаємодія гірських порід з атмосферою, гідросферою, техносферою і живою речовиною (ЖР). Легко розчинні ХЕ (K, Ca, Na, Mg і ін.) формують біомасу, включаючи кістякові утворення організмів, а ХЕ, це лише частково переходять у розчини (Ni, Zn, Pb, Cu, Co і ін.) також входять (у незначних кількостях) в біомасу, але вониє активними регуляторами біохімічних процесів. Практично нерозчинні ХЕ (Al, Ti і ін.) у природних умовах, під впливом процесів техногенезу можуть переходити в хімічно активні форми, утворити водорозчинні сполуки з органічними речовинами, що є ксенобіотики. Як надлишок (так і дефіцит) ХЕ впливають на ендемічні захворювання живих організмів (геохімічні ендемії) [7].

Середній вміст ХЕ в земній корі називають *кларком*; для кожного регіону ця величина може відрізнятися. Тобто кожний ХЕ може створювати свій *регіональний фон*. Якщо вміст ХЕ вище регіонального фону, то він утворює *геохімічну аномалію*, яка може бути як природною так і техногенною. Але, рівновага між ХЕ локально порушується або природним шляхом, або в результаті техногенної діяльності людини.

*Геохімічна аномалія* – ділянка території, у межах якої хоча б в одному з природних тіл, що її складають, статистичні параметри розподілу ХЕ відрізняються від геохімічного тіла (середньої величини природної варіації вмісту ХЕ). Частина техногенної геохімічної аномалії, у межах якої ЗР досягають концентрації, що робить несприятливим вплив на живі організми, називається *зоною забруднення* [12]. В.Т. Трофимов і ін. [1] пропонують геохімічні аномалії, пов'язані з природними процесами, називати «геопатогенними геохімічними аномаліями», а з техногенезом - «технопатогенними геохімічними аномаліями».

Геохімічні неоднорідності можуть бути обумовлені як підвищеним вмістом ХЕ щодо фону (*позитивні аномалії*), так і заниженим вмістом ХЕ в порівнянні з фоном (*негативні аномалії*). У залежності від компонентів НПС, що депонують геохімічні аномалії, можна виділити: 1)

*літогеохімічні*, обумовлені складом гірських порід, ґрунтів і донних відкладів , техногенних ґрунтів; 2) *гідрогеохімічні* – складом підземних вод; 3) *газогеохімічні* – газовим складом ґрунтів, гірських порід, підземних вод; 4) *сноухімічні* – складом снігового покриття; 5) *біогеохімічні* – складом живої речовини. Найбільш стабільні в часі літогеохімічні аномалії. Хімічні елементи надходять у живі організми повітряним, водяним і трофічним шляхами. В останньому випадку відзначається біологічне концентрування токсикантів по мірі переміщення на більш високий трофічний рівень. Фіксуються зв'язки в системах «гірські породи – біота», «підземні води – біота», «ґрунти – біота». Не зупиняючись на аналізі особливостей впливу природних геохімічних аномалій різного типу на біоценози і здоров'я населення, слід особливо зазначити вплив біогеохімічних аномалій на формування біогеохімічних ендемій. По визначенню В.В. Ковалевського [13] *біогеохімічні ендемії* - захворювання рослин, тварин і людей, викликані дефіцитом чи надлишком (дисбалансом) ХЕ в природних середовищах. Особливо негативно на біоту впливають техногенні геохімічні поля й аномалії вищезазначених типів. Для оцінки геохімічного техногенного навантаження, випробовуваного природним середовищем [14], пропонують використовувати *сумарний коефіцієнт ноосферної концентрації* ($C_n$), що показує, наскільки збільшено вміст ХЕ в окремих продуктах у порівнянні з навколишнім природним середовищем:

$$C_n = \sum C_1 / N_{n1} + \ldots + C_i / N_{ni}\,, \qquad (1.3)$$

де $C_1$ – вміст компонентів у даному продукті; $N_n$ – кларки відповідних компонентів у ноосфері (біосфері); $i$ – кількість аномальних елементів.

Найбільш високе значення $C_n$ характерне для вугілля, тому при використанні вугілля в ландшафти надходить близько 25 елементів (у т.ч. C, U, важкі метали). Значно нижче значення $C_n$ для нафти і газу, хоча з ними надходить надлишкова кількість C, N, Cd, J, He, Ar.

Для характеристики територіальних особливостей геохімічного техногенного впливу можна використовувати регіональний *сумарний коефіцієнт ноосферної концентрації* ($C_n^s$):

$$C_n^s = D_i\ C_{ni} + \ldots + D_k\ C_{nk}, \qquad (1.4)$$

де $D_i$ …, $D_k$ – техногенний тиск різних продуктів на досліджуваній території.

У зоні формування техногенних геохімічних аномалій токсиканти включаються в біогеохімічні цикли, що веде до виникнення патогенних для живих організмів і небезпечних для здоров'я людей провінцій: *гіпомікроелементози* (Cu – хвороба Менкеса з важкою поразкою

центральної нервової системи, Zn – уроджені пороки розвитку, Mn – діабет і ін.); *гіпермікроелементози* (Rb – свинцева енцефалопатія, Cd – кадмієві риніти, нефропатія, кардіоміопатія, Hg – хвороба Мінамату, енцефалопатія та ін.)

*Патогенні геохімічні аномалії* – ділянки території з відхиленнями концентрації і характеру розподілу ХЕ від геохімічного фону, що значно відрізняються від санітарно-гігієнічних норм і приводять до патології флори, фауни і людського організму [1].

Патологічні зміни в біоті можливі як при підвищеному вмісту ряду ХЕ (As, Hg, Sr, P і ін.), так і при заниженому вмісті F, I, Ca та інших ХЕ, а також при дисбалансу Sr/Ca, Ca/P і ін. Для характеристики біогенної міграції ХЕ запропоновані різні показники (біофільність, коефіцієнт біологічного поглинання, біогеохімічна активність виду, ряд біологічного поглинання, рослинно-ґрунтовий коефіцієнт, рослинно-водяний коефіцієнт і ін.). Наприклад, *коефіцієнт біологічного поглинання* ($A_x$) відбиває відношення вмісту ХЕ в золі рослин до його вмісту в ґрунті чи гірській породі. Чим більше величина $A_x$, тим більше енергійно накопичуються в рослинах ХЕ: n·10 - n·100 (P, S, Cl, I); n·1 - n·10 (K, Ca, Mg, Na, Sr, B, Zn, Ag); 0,n – 0,0n (Ti, Cr, Pb, Al, U, Zr) і т. д. Організм може регулювати гомеостаз тільки при визначених межах концентрацій мікроелементів у ґрунтах: Co (7-30), Cu (15-60), Zn (30-70), Mn (400-3000), Mo (1,5-4), Sr (0-10), I (2-40), B (3-30) [15,16 ]. Токсичність солей металів знижується в такій послідовності: Cr, V, Mn, Ni, Cu, Ba. Рослини і мікроорганізми є прекрасними біоіндикторами вмісту токсикантів у компонентах ГС. Фізіологічні і морфологічні зміни рослин нерідко обумовлені токсичністю окремих металів. Хімічний склад донних відкладів відіграє значну роль у стані водних ЕС і здоров'ї людини (донні відкладення - гідробіонти - людина). Знижені концентрації ХЕ в ґрунтах позначаються на здоров'ї тварин і людини (Co – схуднення й анемія домашніх тварин, Cu - виснаження домашніх тварин, I – базедова хвороба, Fe – анемія у людини, Se – м'язова дистрофія у ягнят, млявість серцевого м'язу у людини), а підвищені концентрації As приводять до затримки росту рослин, Cd – цирозу печінки, Pb – порушенню діяльності нирок і нервової системи і т.д. Хвороби і синдроми біогеохімічної природи наведені в табл. 1.3.

Таким чином, процеси патогенезу обумовлені не лише техногенними, але й природними геохімічними аномаліями. Оскільки техногенні неоднорідності накладаються на природні геохімічні поля, то формуються природно-техногенні аномалії, що значно ускладнює визначення причин патогенезу біоти і людини.

Таблиця 1.3 - Хвороби і синдроми біогеохімічного походження [19]

| Хвороби, синдроми | Біогеохімічні аномалії природного походження |
|---|---|
| ***Мономікроелементози*** | |
| Алюмінієва хвороба | Надлишок Al |
| Арсеноз | Надлишок As |
| Молібденова подагра | Надлишок Mo |
| Нікелева екзема | Надлишок Ni |
| Сатурнізм (анемія, кишкова колька, енцефалопатія) | Надлишок Pb |
| Селеноз (артрити, алопеція, ломкість нігтів) | Надлишок Se |
| Флюороз | Надлишок F |
| Хромдефіцитний синдром | Дефіцит Cr |
| Цинкдефіцитний синдром | Дефіцит Zn |
| ***Полімікроелементози*** | |
| Анемії біогеохімічної природи | Дефіцит Fe, надлишок Cu, дефіцит Cu, дефіцит Mo при надлишку Mn |
| Асбестоз | Мінерал, що містить Si, Mg, Fe, Ca, Na |
| Зоб ендемічний | Дефіцит I, надлишок Mn, F при браку Mo, надлишок Co при відносному недоліку I |
| Карієс зубів | Брак F, надлишок Mn при дисбалансу інших ХЕ |
| Мочекамінна хвороба | Надлишок Ca, Si при недоліку Co, Mo, B, Zn |
| Остеохондродістрофія, вітамін -Д-резістентний рахіт | Надлишок Sr, Ca |
| Селендефіцитна міокардіопатія | Дефіцит Se при дисбалансі других ХЕ |
| Уровська (Кашин-Бека) хвороба | Дефіцит Ca при надлишку Sr; надлишок фосфатів при браку Ca і дисбалансі інших ХЕ |

***Геофізична екологічна функція літосфери*** визначає властивості геофізичних полів природного і техногенного генезису впливати на стан біоти і здоров'я людини. *Геофізичні поля* (неоднорідності) – це природні фізичні поля космічного і земного генезису, а також техногенні фізичні поля, що діють у межах літосфері які перетворені і розподілені нею.

*Геофізична аномалія* – відхилення значень фізичного поля від нормального, обумовленим розходженням фізичних властивостей гірських порід і неоднорідністю його складу і побудови. Фонові значення природних геофізичних полів наведені в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Фонові значення параметрів природних геофізичних полів [2]

| Вид поля | Фонові значення |
|---|---|
| Магнітне (мЕ)* | 500-618 |
| Гравітаційне (мГал; или м/с$^2$) ** | (978-983) ·10$^3$ чи 9,78-9,83 |
| Температурне ($^o$С); на поверхні (границя життя) | від -88 до + 58 (від –200 до +100) |
| Електромагнітне (мВ/км) | 0,1-10 |
| Атмосферна електрика (іон/см$^3$) | 1000-1400 |
| Природні електричні поля (мВ) | 5-100 |
| Іонізуюче випромінювання (мЗв/рік)*** | 1,2-1.3 |

* 1 милиерстед = 0,08 А/м чи 100 нТл (нанотесла).

** 1 мГал = $10^{-5}$ м/с$^2$.

*** 1 мЗв/рік відповідає 1 мГр чи 100 мР/рік.

Таблиця 1.5 - Порівняльна характеристика природних і техногенних фізичних полів [2]

| Вид фізичного поля | Одиниця виміру | Рівень поля | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | фоновий | техно-гений | санітарна межа | технічна межа |
| Акустичне | дБ(А) | 25-30 | 80-120 | 45-60 | - |
| Статичне | МПа | 0,1 | 0,01-2,0 | 0,2 | 1,8-7,5* |
| Вібраційне | мм/с | 0,02-0,50 | 0,02-16 | 0,12 | 0,20-0,40 |
| Температурне | $^o$С | від –2 до +10 | від –160 до +1500 | 16-24** | - |
| Електричне:<br>-блукаючі струми<br>-атм. електрика | <br>мВ/м<br>$^+$іон / $^-$іон | <br>5-10<br>1,15-1,2 | <br>10-300<br>1,0-1,5 | <br>-<br>- | <br>3-5<br>- |
| Електромагнітне | кВ/м | 10 $^{-6}$ | 2,5-10,0 | 5,0 | - |
| Радіаційне | мЗв/рік*** | 0,3-2,2 | 1,6 | 2,1 | - |

* Для ґрунтів у рівні фундаментів.

** Санітарні норми для службових і житлових приміщень.

*** 1 мЗв = 1 мГр = 100 мР.

У багатьох випадках відзначаються значні відхилення від фонових значень, що відбувається на умовах існування людини й інших живих організмів [2].

На природні поля накладаються техногенні геофізичні, що є побічним продуктом сучасних технологій і є одним з екологічних факторів. Техногенні геофізичні поля за рівнем у декілька разів, а іноді і на декілька порядків перевершують природні (фонові) рівні (табл. 1.5). Зміни, внесені техногенними фізичними полями обмежуються глибиною антропогенного впливу на літосферу (звичайно 50-300 м).

З геофізичними аномаліями (магнітними, гравітаційними, геотермічними, електричними, вібраційними, акустичними) пов’язані осередки підвищеної захворюваності і прояву функціональних розладів живих організмів [17]. Наприклад, магнітні поля діють на нервові клітини мозку. Сильні електричні поля негативно впливають на центральну нервову систему. Вібраційні поля приводять до підвищеної стомлюваності, до гальмування рухових реакцій, координації руху і т.д. При землетрусах і релаксації сейсмічних напруг виникають акустичні поля; ультразвукові хвилі викликають у людини галюцинації, а інфразвукові - страх і паніку. Причому такі ситуації можливі не тільки у випадку сильних землетрусів, але і при постійному впливі слабких землетрусів (до 2-3 балів), як це має місце в зоні глибинних (сейсмогенних) розломів.

Слід зазначити, що на долю радону приходиться близько 3/4 індивідуальної ефективної еквівалентної дози, одержуваної населенням. Що стосується малих доз радіації, то вони приведуть до онкологічних захворювань і до генетичних відхилень, а великі дози радіації руйнують клітини, ушкоджують тканини органів і можуть бути причиною променевої хвороби з летальним результатом [17]. Прихильники радіаційного гормезису вважають, що малі дози радіації (у межах природного тіла) необхідні і навіть корисні для живих організмів[18].

Під *«геопатогенними зонами»* розуміються області аномального прояву геолого-геофізичних і геохімічних полів, що негативно відбивається на стані живих організмів і здоров'ї людини, тобто є причиною *геопатогенезу*. Серед різноманітних геопатогенних зон можна виділити два основних типи: 1) пов'язані зі знаходженням токсичних ХЕ, підвищеним виділенням радону та інших ендогенних газів, поширенням патогенних мікроорганізмів; 2) пов’язані з локальними геофізичними аномаліями. Оскільки геопатогенні зони можуть негативно впливати на живі організми, те їх варто відносити до осередків підвищеного екологічного ризику.

Великий інтерес представляють природні аномалії в Східній Африці, що тяжіють до рифтової системи (озера Вікторія, Танганьїка). У цьому регіоні в геологічному минулому і сьогоденні відзначається підвищений природний радіаційний фон. До Східно-Африканської рифтової зони приурочені найбільш давні викопні органічні речовини в породах і залишки найдавніших предків людини. Чорношкірість населення є відповідною реакцією людського організму на біологічно активний ультрафіолет. Це район специфічного ендемічного захворювання при якому гемоглобін утрачає здатність до переносу кисню; місце виникнення ретровірусу людини HTLV-1, що є збудником лейкозу в крові африканських мавп; місце виникнення ретровірусу HTLV-3 – збудника СНІДу. Найбільш уражені цим вірусом території, що віднесені до озер

тектонічного (рифтового) генезису. Не виключено, що з областю зазначених рифтових озер пов'язані і викиди озоноактивних газів, що приводить до ослаблення озоносфери, а, значить, і до максимального впливу на молекули ДНК (у сукупності з таким мутагенним фактором, як природно підвищений радіаційний фон).

*Небезпечні умови для мешкання біоти в зонах високої концентрації шкідливих речовин в атмосферному повітрі. Наприклад, в "собачій печері" (Італія) у метровому шарі $CO_2$ гинуть собаки, а оскільки люди завдяки своєму росту перебувають трохи вище цієї небезпечної зони, то вони дихають нормальним повітрям. У долини гейзерів на Камчатці знайшли видолинок, де гинуть навіть ведмеді. При раптовому викиді спонтанного $CO_2$ з інших задушливих домішок на кратерному озері Ніос (Камерун) 21 серпня 1986 р. загинуло 1700 жителів трьох сіл та худоби. Хмара із шкідливих газів "перелилася" через кратера і посунула вниз уздовж долин ручаї, спричинивши екологічну катастрофу.*

Медико-геологічне ранжирування територій з зазначенням ділянок (сприятливих чи несприятливих) для функціонування біоти і проживання людей, - є основою для розміщення об'єктів промислового і цивільного будівництва, визначення місць рекреації і т.д.

Спеціалістами ДГП "Геопрогноз" (Є.О. Яковлєв [5]) проведений аналіз техногенного навантаження на НПС і загальної захворюваності ($\Sigma$ *Зах.*) населення України. Показником загального техногенного навантаження є *модуль техногенного навантаження* ($M_m$), який визначається як сума вагових одиниць всіх видів відходів (твердих, рідких, газоподібних) промислових, сільськогосподарських і комунальних об'єктів за часовий проміжок – 1 рік, віднесений до площі адміністративного району або області, в межах якої розташовані ці об'єкти, тобто модуль виражається в т/км$^2$ на рік. З метою отримання показників техногенного забруднення і загальної захворюваності населення (кількість хворих на 100 тисяч населення), модулі було переведено в безрозмірні величини: *приведене техногенне навантаження* (відношення $M_m$ по конкретній адміністративній області до мінімального значення $M_m$ для України - $M_i/M_{min}$) і *приведену захворюваність* (відношення показників загальної захворюваності для даної області до мінімального значення захворюваності - $\Sigma Зах./Зах_{min}$) для України (табл. 1.6).

Аналіз свідчить, що між захворюваністю населення і техногенними навантаженнями для більшості областей простежується певна залежність. Причому, ця залежність більш чітко виражена для областей з відносно більш низькими або середніми значеннями показників.

Таблиця 1.6 – Показники загальної захворюваності населення і техногенних навантажень на оточуюче середовище [5]

| Адміністративно-територіальна одиниця | $\Sigma$ Зах. | $M_m$, тис.т/км$^2$.рік | $\Sigma$ Зах./ Зах$_{min}$ | $M_i / M_{min}$ |
|---|---|---|---|---|
| Республіка Крим | 77950 | 37 | 1.4 | 6.2 |
| Вінницька область | 66550 | 44 | 1.2 | 7.3 |
| Волинська область | 66550 | 6 | 1.2 | 1.0 |
| Дніпропетровська область | 72250 | 97 | 1.3 | 16.2 |
| Донецька область | 72250 | 99 | 1.3 | 16.5 |
| Житомирська область | 60850 | 6 | 1.1 | 1.0 |
| Закарпатська область | 55150 | 6 | 1.0 | 1.0 |
| Запорізька область | 72250 | 97 | 1.3 | 16.2 |
| Івано-Франківська область | 60850 | 15 | 1.1 | 2.5 |
| Київська область | 77950 | 108 | 1.4 | 1.8 |
| Кіровоградська область | 60850 | 10 | 1.1 | 1.7 |
| Луганська область | 72250 | 41 | 1.3 | 6.8 |
| Львівська область | 77950 | 25 | 1.4 | 4.2 |
| Миколаївська область | 66550 | 8 | 1.2 | 1.8 |
| Одеська область | 66550 | 18 | 1.2 | 3.0 |
| Полтавська область | 55150 | 12 | 1.0 | 2.0 |
| Рівненська область | 55150 | 8 | 1.0 | 1.8 |
| Сумська область | 55150 | 7 | 1.0 | 1.2 |
| Тернопільська область | 55150 | 10 | 1.0 | 1.7 |
| Харківська область | 77950 | 19 | 1.4 | 3.2 |
| Херсонська область | 60850 | 18 | 1.1 | 2.1 |
| Хмельницька область | 55150 | 11 | 1.0 | 1.8 |
| Черкаська область | 66550 | 25 | 1.2 | 4.2 |
| Чернігівська область | 60850 | 8 | 1.1 | 1.3 |
| Чернівецька область | 60850 | 9 | 1.1 | 1.5 |

## Контрольні питання для самоперевірки

1. Що таке геологічне середовище ?
2. Що таке природно-технічна система ?
3. Яка різниця між поняттями «геологічне середовище» і«приповерхня частина літосфери» ?
4. Що таке коефіцієнт стійкості геологічного середовища ?
5. У чому полягає ресурсна функція літосфери ?
6. У чому полягає геодинамічна екологічна функція літосфери ?
7. У чому полягає геохімічна екологічна функція літосфери ?
8. У чому полягає геофізична екологічна функція літосфери ?
9. Що таке геохімічні і геофізичні аномалії ?
10. Що таке геопатогенні зони ?
11. Що таке модуль техногенного навантаження ?

# 2 КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ЕКОЛОГО-ГЕОЛОГІЧНОГО СТАНУ ТЕРИТОРІЙ

Існують наступні основні підходи до оцінки еколого-геологічного стану територій: 1) заснований на прямих кількісних оцінках компонентів ГС (породи, ПВ, ґрунти, донні відкладення, геологічні явища) – ГДК, ГДР, фонові значення і т.д.; 2) по ранжируванню території за техногенному навантаженні (незмінені, слабко-, середньо-, сильно- і дуже сильно змінені, катастрофічно змінені); 3) за оцінкою ролі «геологічної матриці» (ГС) у сучасному стані ЕС.

Слідом за Б.В. Виноградовим і ін. [20], у багатьох роботах виділяються 4 рівні (класи) природно-антропогенних порушень: норми, ризику, кризи, катастрофи чи лиха.

*Зона екологічної норми* (*Н)* містить у собі території без помітного зниження продуктивності і сталості ЕС, її відносної стабільності. Значення прямих критеріїв нижчі за ГДК чи фонові значення. Деградація земель (яружна, вітрова і водяна ерозії зі знищенням гумусового шару і вторинне засолення з втратою родючості; або площа земель, виведена із сільськогосподарського землекористування) складає менш 5% території.

*Зона екологічного ризику* (*Р*) містить у собі території з помітним зниженням продуктивності і сталості ЕС, що веде до спонтанної деградації ЕС, але ще зі зворотними порушеннями. Територія вимагає розумного господарського використання і заходів щодо поліпшення екологічних умов. Значення прямих критеріїв перевищують ГДК чи фон. Деградовано 5-20% земель від загальної площі.

*Зона екологічної кризи* (*К*) містить у собі території із сильним зниженням продуктивності і втратою сталості ЕС, і важко зворотними порушеннями. Необхідне вибіркове господарське використання території із застосуванням докорінних заходів щодо поліпшення екологічних умов. Значення прямих критеріїв значно перевищують ГДК чи фон. Деградовано 20-50% земель.

*Зона екологічного лиха* (*Л*) містить у собі території з повною втратою продуктивності і сталості ЕС, практично необоротними порушеннями ЕС, що виключають її з господарського використання. Значення прямих критеріїв у десятки разів перевищують ГДК чи фон. Деградовано більш 50% земель.

Зоні екологічної норми відповідають *задовільні* (*З*), зоні екологічного ризику – *умовно задовільні* (*УЗ*), зоні екологічної кризи – *незадовільні* (*НЗ*), зоні екологічної кризи – *катастрофічні* (*К*) еколого-геологічні умови. Слід зазначити, що стан живих організмів залежить не тільки від еколого-геологічних умов, від інтегрального стану усіх абіотичних середовищ, а і від соціально-економічних факторів.

Для оцінки еколого-геологічних умов використовуються прямі й індикаторні критерії, що за характером оцінки підрозділяються на ресурсну, геодинамічну, геохімічну і геофізичну групи.

*Прямі критерії* оцінки в рамках цих груп регламентуються нормативно-директивними документами і співвідносяться стосовно ГДК, ГДВ, ГДС, ГДН, або до фону і кларкового значення.

*Індикаторні критерії* містять у собі: 1) у ресурсній групі - залишкові запаси з урахуванням досягнутого рівня споживання (кількість років); 2) у геодинамічні групі – площинні, об'ємні і динамічні, а також медико-санітарні, ботанічні і зоологічні; 3) у геохімічній групі - показники оцінки ступеню забруднення літосфери; 4) у геофізичній групі - критерії оцінки радіаційного забруднення і т.д. [2 ].

***Ресурсна група критеріїв*** дозволяє установити рівень виснаження екологічно значимих мінеральних, органо-мінеральних, органічних і водних ресурсів літосфери або тимчасову забезпеченість ними людського суспільства. Серед них можна виділити 3 основні групи: 1) ресурси для життя біоти – гірські породи, що містять біогенні ХЕ і які умовно оцінюються по наявності (чи відсутності) в межах розглянутої еколого-геологічної системи; 2) ресурси, необхідні для життя і діяльності людського співтовариства (світового, національного, регіонального і локального значення), що можуть оцінюватися в тоннах на душу населення у рік і т.д.; 3) ресурси геологічного простору як середовища життєдіяльності людини – можливо оцінювати шляхом ранжирування по якості для визначення видів використання (поховання токсикантів, підземна урбанізація й ін.).

В.Т. Трофимов і ін. [2] як один із методів оцінки ресурсу літосфери пропонують виділяти і картографувати територіальні типологічні одиниці, або по придатності еколого-геологічних умов території для: I – розселення біоти, П – різні види господарської діяльності, Ш – будівництво різного роду інженерних споруджень, IV – сприятливі умови для проживання людей (зони неможливого проживання чи короткочасного перебування; зони короткочасного перебування чи обмеженого проживання; зони проживання з ускладненими кліматичними чи екологічними умовами; зони, сприятливі для розселення людей).

***Геодинамічна група критеріїв*** використовується для оцінки еколого-геологічного стану рельєфу і підземного простору літосфери, а також для оцінки розвитку природних і антропогенних процесів. Серед них виділяють *площові* (% порушеної площі), *енергетичні* (швидкості й об’єми порід, що зміщуються,) і *динамічні* (темпи зростання негативних порушень). Критерії виділення класів еколого-геологічних умов наведені в таблиці 2.1. У залежності від зміни ґрунтового покриву геологічними процесами також можна виділити екологічні зони і відповідні їм класи еколого-геологічних умов (табл. 2.2).

Таблиця 2.1 – Критерії виділення класів
еколого-геологічних умов [1]

| Критерії оцінки | Розмірність | Класи стану еколого-геологічних умов (екологічні зони) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ***З* (*Н*)** | ***УЗ* (*Р*)** | ***НЗ* (*К*)** | ***К* (*Л*)** |
| Площа техногенного рельєфу від загальної площі | % | < 5 | 5-25 | 25-50 | > 50 |
| Інтенсивність розвитку геологічних процесів (обсяг, швидкість, енергетика) | градації не розроблені | | | | |
| Складність інженерно-геологічних умов | - | нескладні, локальні міри захисту від небезпечних геологічних процесів | складні, інженерна захищеність необхідна на окремих ділянках | дуже складні, інженерна захищеність необхідна на усих ділянках | систематичні проявлення катастрофічних процесів, міри інженерного захисту не гарантують безпеку проживання населення |
| Збільшення площі порушення на рік | % | < 1 | 1-2 | 2-5 | > 5 |
| Площа техногенного рельєфу до площі ділянки | % | < 10 | 10-25 | 25-50 | > 50 |
| Розмах порушеного рельєфу | м | < 5 | 10-20 | 20-50 | - |
| Площі порушених територій | % | < 10 | 10-25 | 25-50 | - |

Біологічні показники (щільність рослинного покриву, зміна біологічної різноманітності, поява вторинних видів рослинності і т.д.) дозволяють оцінювати змінення живих організмів під впливом геологічних процесів, а також судити про характер і інтенсивність цих процесів. Наприклад, зменшення площі рослинного покриву може спричинити: активізацію водяної ерозії і дефляції, збільшення вмісту пилу в атмосфері, зменшення площ пасовищ, зниження продуктивності худоби, погіршення умов життєдіяльності людини.

Таблиця 2.2 – Оцінка стану ґрунтів в залежності від їх змінень природно-техногенними геологічними процесами [20]

| Показники | Класи (зони) екологічного стану | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **З (Н)** | **УЗ (Р)** | **НЗ (К)** | **К (Л)** |
| Вміст гумусу, % від початкового | > 90 | 90-70 | 70-30 | < 30 |
| Площа вторинно засолених ґрунтів, % | < 5 | 5-20 | 20-50 | > 50 |
| Глибина змитості ґрунтових горизонтів | немає | змиті горизонт $A_1$ або 0,5 горизонту А | змиті горизонт А і В і частина АВ | змиті горизонти А и В |
| Глибина змитості ґрунтових горизонтів, % ґрунтового профілю | < 10 | 10-30 | 30-50 | > 50 |
| Площа підгрунтових порід, % загальної площі | < 5 | 5-10 | 10-25 | > 25 |
| Площа повітряної ерозії, % | < 5 | 10-20 | 20-40 | > 40 |

Крім того, розроблено критерії, засновані на обчисленні людських жертв, обумовлених зазначеним геологічним процесом (табл. 2.3), що, наприклад, може бути використане стосовно до територій Росії і України. *Екологічним лихом* (*Л*) вважаються такі прояви геологічних процесів, коли відбувається втрата сталості ЕС, їх необоротні зміни, а число жертв досягає 1000 чоловік (у принципі $n \cdot 10^2$).

*Ботанічні критерії* використовуються найбільш часто через те, що вони найчутливіші до порушень в НПС, а також з-за можливості по рослинах відчути зміни екологічного стану в просторі і в часі. Як приклад, ботанічні показники по В.Б. Виноградову й ін. наведені у табл. 2.4.

*Зоологічні критерії* можуть розглядатися на рівні співтовариств чи популяцій. У силу сильної мінливості цих показників, зазвичай вони розглядаються за 5-10 літній період спостережень (табл. 2.5).

Використання критеріїв у сукупності дозволяє пристовувати комплексні біологічні показники для виділення зон екологічного стану (*Н, Р, К, Л*) і відповідних їм класам еколого-геологічних умов (*З, УЗ, НЗ, К*) [2].

Деякі дослідники серед критеріїв оцінки сучасного стану ЕС розрізняють тематичні, просторові і динамічні .

*Тематичні критерії* містять у собі специфічні індикатори, що характеризують властивості і стан ЕС: ботанічні, біохімічні, зоологічні, ґрунтові.

Таблиця 2.3 – Біологічні и економічні критерії
оцінки стану екосистем під впливом геологічних процесів [2]

| Критерії оцінки (параметри оцінки) | Стан екосистем під впливом природно-техногенних факторів | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ***Н*** | ***Р*** | ***К*** | ***Л*** |
| Біологічні (кількість людських жертв) % від початкового | відсутні | до 30 ($n \cdot 10$) | 31-1000 ($n \cdot 10^2$) | > 1000 ($n \cdot 10^3$) |
| Економічні (матеріальний збиток в мінімальних розмірах оплати праці) | < 1000 | 1000-0.5 млн. | 0,5-5 млн. | > 5 млн. |

Таблиця 2.4- Ботанічні показники екологічного стану [20]

| Показники | Зони екологічного стану | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ***Н*** | ***Р*** | ***К*** | ***Л*** |
| Погіршення видового складу природної рослинності | природні зміни домінантів, субдомінантів і характерних видів | зменшення кількості домінуючих видів | зміна домінуючих видів на вторинні (бур'яни і отруйні) | збільшення вторинних видів, корисних рослин немає |
| Зміна ареалів | відсутні | ослаблені | скорочені | зникання |
| Порушення рослинності | відсутні | порушення найбільш чутливих видів | порушення середньо-чутливих видів | порушення слабко-чутливих видів |
| Зменшення індексу різноманітності Сімпсона, % | < 10 | 10-20 | 25-50 | > 50 |
| Лісистість, % від зональної | > 80 | 70-60 | 50-30 | < 10 |
| Порушення деревостоїв, % | < 5 | 10-30 | 30-50 | > 50 |
| Порушення хвої, % біомаси | < 5 | 10-30 | 30-50 | > 50 |
| Гибель посівів, % площі | < 5 | 5-15 | 15-30 | > 30 |
| Проективне покриття пасовищною степною і напівпустельною рослинністю, % від норми | > 80 | 70-60 | 50-30 | < 10 |

Таблиця 2.5 - Окремі зоологічні показники екологічного стану [20]

| Показники | Класи (зони) екологічного стану | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ***Н*** | ***Р*** | ***К*** | ***Л*** |
| Біологічна різноманітність, % від початкового | < 5 | 10-20 | 25-50 | >50 |
| Щільність популяції – індикатор антропогенного навантаження, % від початкового | < 5 | 10-20 | 25-50 | >50 |
| Падіж домашніх тварин, % | < 10 випадково | 10-20 спорадично | 25-50 регулярно | >50 масово |

*Ґрунтові критерії* відображають погіршення властивостей ґрунтів і є одним з найбільш важливих факторів формування зон (класів) *Н, Р, К* и *Л*. Найбільший інтерес представляють грунтово-ерозійні критерії, які прямо пов'язані як із природними геологічними процесами, так і з антропогенними факторами і які прискорюють процес деградації ґрунтового покриву. Деякі ґрунтові показники було наведено в таблиці 2.2.

*Просторові критерії* відбивають площі порушених ЕС. При рівній глибині негативного впливу на ЕС, мала площа відновлюється швидше. За розмірами зони порушення екологічної рівноваги умовно підрозділяються на регіональні (10000 км$^2$), обласні (1000 км$^2$), районні (100 км$^2$), локальні (10 км$^2$) і ендемічні (1 км$^2$). Якщо навіть сильно порушені ЕС займають площа менш 5% території, то зміна розглядається в межах норми (*Н*). Помірні порушення на площі більш 50% при помірній глибині є показником *ризику* (*Р*), при середній – *кризи* (*К*), при сильній – *лиха* (*Л*).

Оцінку забруднення території можна проводити по формулі

$$S_з = \sum_{i=1}^{n} S_i \cdot Z_i / S_{заг}, \qquad (2.1)$$

де $S_з$ – середній показник забруднення; $S_i$ – площа і-того контуру оцінюваної території; $Z_i$ – забруднення і-го контуру оцінюваної території; $S_{заг}$ – загальна площа території.

*Динамічні критерії* відбивають швидкість і інтенсивність порушення екологічних умов у ЕС і їх частинах під впливом природних і антропогенних процесів. Наприклад, деякі біогеохімічні провінції існують задовго до активного прояву процесів техногенезу. Динамічні показники звичайно розглядаються за 5-8 літній період спостережень (табл. 2.6).

***Еколого-геохімічна група критеріїв.*** При нормуванні екологічно небезпечних ЗР в НПС використовуються такі основні підходи: 1) санітарно-гігієнічний – оснований на величинах ГДК токсикантів; 2) геохімічний – оснований на використані кларків концентрацій, фонових величин, сумарних величин токсикантів і інших параметрів; 3) біогеохімічний – оцінюючий рослини як інтегральний показник вмісту токсичних ХЕ в ґрунтах [2].

По ДЗСТу 17.4.1.02-83 за ступенем небезпеки хімічні речовини, забруднюючі ґрунтовий покрив, підрозділяються на 3 класи: 1 – високо небезпечні, 2 – задовільно небезпечні, 3 – мало небезпечні (табл. 2.7).

При санітарно-гігієнічному нормуванні враховуються *показники шкідливості: транслокаційний* ($К_1$) – лімітуючий перехід нормованої ЗР у рослину*; міграційний водний* ($К_2$) - лімітуючий перехід нормованої ЗР у водне середовище*;* *міграційний повітряний* ($К_3$) - лімітуючий перехід

Таблиця 2.6 – Окремі динамічні показники екологічних зон [1]

| Показники (5-8 річних спостережень) | Зони екологічного стану | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Н** | **Р** | **К** | **Л** |
| Збільшення площі деградованих ЕС, % | < 0,5 | 1-2 | 2-4 | > 4 |
| Збільшення площі еродованих земель, % | < 0,5 | 1-2 | 2-5 | > 5 |

Таблиця 2.7 – Критерії класів небезпечності хімічних речовин в ґрунтах

| Показник | Норма для класів небезпеки | | |
|---|---|---|---|
| | 1-го класу | 2-го класу | 3-го класу |
| 1. Токсичність, $ДЛ_{50}$, мг/кг | < 200 | 200-1000 | > 1000 |
| 2. Персистентність в ґрунті, міс. | > 12 | 6-12 | < 6 |
| 3. ГДК в ґрунті, мг/кг | < 0,2 | 0,2-0,5 | > 0,5 |
| 4. Міграція | мігрують | слабо мігрують | не мігрують |
| 5. Персистентність в рослинах, міс. | > 3 | 1-3 | < 1 |
| 6. Вплив на харчову цінність сільськогосподарської продукції | сильне | помірне | немає |

нормованої ЗР у повітряне середовище*; загально санітарний* ($К_4$) - оцінюючий здатність ґрунту до самоочищення і ґрунтовий мікробоценоз (табл. 2.8) [21].

Відзначені показники розглядаються як критерії оцінки забруднення ґрунтів і гірських порід неорганічними й органічними речовинами [21]. На підставі даних показників розроблено чотири критерії ступеня забруднення ґрунтів і вод органічними і неорганічними речовинами: слабкий, середній, сильний і дуже сильний (табл. 2.9), що може бути використана для картографування еколого-геологічних умов.

Загальну оцінку ступеня забруднення ґрунтового покриву можна проводити за критеріями, що прийнятні і для ПЧЛ (табл. 2.10), або виділяти слабо-, середньо- і сильно забруднені ґрунти. У слабо забруднених ґрунтах вміст ЗР не перевищує ГДК, чи фонове значення. У середньо забруднених - перевищення ГДК (фону) незначне і не приводить до істотних змін властивостей ґрунтів. У сильно забруднених ґрунтах вміст ЗР у кілька разів перевищує ГДК (фон), що істотно позначається як на властивостях ґрунтів, так і на якості сільськогосподарської продукції.

Іноді проводять оцінку за ступенем забруднення окремими ЗР (важкими металами, бенз(а)піреном, нафтопродуктами і т.д.). Для випадків, коли на ЗР немає ГДК, визначення ступеня забруднення проводиться в порівнянні з фоновими чи кларковими значеннями.

Таблиця 2.8 – ГДК окремих хімічних речовин в ґрунтах і допустимий вміст за показником шкідливості [21]

| Наймену-вання | Клас небез-пеки | Форма, вміст | ГДК, мг/кг ґрунту з урахуван-ням фону | Показник шкідливості ($K_{max}$) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | $K_1$ | $K_2$ | $K_3$ | $K_4$ |
| Zn | 1 | рухома | 23,0 | 23,0 | 200,0 | - | 37,0 |
| Cu | 2 | -«- | 3,0 | 3,5 | 72,0 | - | 3,0 |
| Ni | 2 | -«- | 4,0 | 6,7 | 14,0 | - | 4,0 |
| Co | 2 | -«- | 5,0 | 25,0 | > 1000,0 | - | 5,0 |
| Cr | 2 | -«- | 6,0 | 6,0 | 6,0 | - | 6,0 |
| F | 1 | водороз-чинна | 10,0 | 10,0 | 10,0 | - | 25,0 |
| Pb | 1 | валовій вміст | 30,0 | 35,0 | 260,0 | - | 30,0 |
| As | 1 | -«- | 2,0 | 2,0 | 15,0 | - | 10,0 |
| Hg | 1 | -«- | 2,1 | 2,1 | 33,0 | 2,5 | 5,0 |
| Pb + Hg | 1 | -«- | 20,0+1,0 | 20,0 +1,0 | 30,0+2,0 | - | 50,0+2,0 |
| Sb | 2 | -«- | 4,5 | 4,5 | 4,5 | - | 50,0 |
| Mn | 3 | -«- | 1500,0 | 3500,0 | 1500,0 | - | 1500,0 |
| V | 3 | -«- | 150,0 | 170,0 | 350,0 | - | 150,0 |
| Mn + V | 3 | -«- | 1000,0 +100,0 | 1500,0 +150,0 | 2500,0 +200,0 | - | 1000,0 +100,0 |
| $H_2S$ | 3 | -«- | 0,4 | 160,0 | 140,0 | 0,4 | 160,0 |
| $H_2SO_4$ | 1 | -«- | 160,0 | 180,0 | 380,0 | - | 160,0 |
| $NO_3^-$ | 2 | -«- | 130,0 | 180,0 | 130,0 | - | 225,0 |
| Бензол | 2 | -«- | 0,3 | 3,0 | 10,0 | 0,3 | 50,0 |
| Толуол | 2 | -«- | 0,3 | 0,3 | 100,0 | 0,3 | 50,0 |
| Альфаме-тилстирол | 2 | -«- | 0,5 | 3,0 | 100,0 | 0,5 | 50,0 |
| Стирол | 2 | -«- | 0,1 | 0,3 | 100,0 | 0,1 | 1,0 |
| Ксилол | 2 | -«- | 0,3 | 0,3 | 100,0 | 0,4 | 1,0 |

Таблиця 2.9 - Критерії оцінки ступеню забрудненості ґрунтів [21]

| Вміст в ґрунті, мг/кг | Клас небезпеки сполук | | |
|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 |
| *Неорганічні речовини* | | | |
| > $K_{max}$ | дуже сильний | дуже сильний | сильний |
| 1 ГДК - $K_{max}$ | дуже сильний | сильний | середній |
| 2 фона - ГДК | слабий | слабий | слабий |
| *Органічні речовини* | | | |
| > ГДК | дуже сильний | сильний | середній |
| 2 ГДК - 5 ГДК | сильний | середній | слабий |
| 1 ГДК – 2 ГДК | середній | слабий | слабий |

Таблиця 2.10 – Класи (зони) екологічного стану ґрунтів [20]

| Показник | Класи (зони) екологічного стану | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ***З* (*Н*)** | ***УЗ* (*Р*)** | ***НЗ* (*К*)** | ***К* (*Л*)** |
| Родючість ґрунтів, % від потенційного | > 85 | 85-65 | 65-25 | < 25 |
| Вміст гумусу, % від початкового | > 90 | 90-70 | 70-30 | < 30 |
| Вміст легкорозчинних солей, % от маси | < 0,6 | 0,6-1,0 | 1,0-3,0 | > 3 |
| Вміст токсичних солей, % от маси | < 0,3 | 0,3-0,4 | 0,4-0,6 | > 0,6 |
| Площа вторинна засолен-них ґрунтів, % | < 5 | 5-20 | 20-50 | > 50 |
| Вміст пестицидів в ґрунті, од. ГДК | < 0,5 | 0,5-1,0 | 1-3 | > 5 |
| Вміст забруднюючих речовин, од. ГДК | < 1 | 1-3 | 3-10 | > 10 |
| Залишковий вміст нафти і нафтопродуктів в ґрунті, % от маси | < 1 | 1-5 | 5-10 | > 10 |
| Ступень змитості ґрунтових горизонтів | немає | змити горизонт $A_1$ або 0,5 горизонту А | змити горизонт А і В і частина АВ | змити горизон-ти А и В |
| Глибина змитості ґрунтових горизонтів, % ґрунтового профілю | < 10 | 10-30 | 30-50 | > 50 |
| Площа дефляції, % | < 5 | 10-20 | 20-40 | > 40 |
| Площа рухомих писків, % | < 5 | 5-15 | 15-25 | > 30 |

Для виключення техногенної складової використовуються дані по незабруднених територіях, чи територіях з викопними ґрунтами, що не зазнали антропогенного «пресу».

Як приклад, можна розглянути критерії оцінки забруднення ґрунтів нафтопродуктами (НП). Ґрунти вважаються забрудненими, коли концентрація НП у них досягає такої величини, при якій починаються негативні екологічні зміни в НПС: порушується екологічна рівновага в ґрунті, гине ґрунтова біота, падає продуктивність чи настає загибель рослин, відбувається зміна морфології, водно-фізичних властивостей ґрунтів, падає їх родючість, створюється небезпека забруднення ПВ і поверхневих вод. Небезпечним рівнем забруднення ґрунту вважається рівень, що перевищує межу потенціалу самоочищення. У закордонних країнах прийнято вважати верхнім безпечним рівнем (*Н*) вміст НП у ґрунті

1 – 3 г/кг; початок серйозної екологічної шкоди (*К*) – при вмісті 20 г/кг і вище. У країнах ближнього зарубіжжя ГДК для НП у ґрунті не розроблені, за винятком Татарстану (Росія) - 1,5 г/кг, що відповідає транслокаційному показнику шкідливості. При том минулому визначені міграційний водний показник шкідливості (13,1 г/кг), міграційний повітряний (більш 5 г/кг) і загально санітарний (більш 5 г/кг). Показники шкідливості встановлені для найбільш токсичної сірчистої нафти карбонових відкладень. В Україні ГДК нафти і НП у ґрунті не визначені, мається лише посилання на орієнтовно допустиму концентрацію (ОДК) - 0,2 мг/кг [22]. Як справедливо відзначають В.І. Соловйов і ін. [23], що ця величина ОДК явно завищена, тому що геохімічний фон вмісту НП у ґрунті в європейських країнах коливається в межах 0,01–0,5 г/кг, а у великих містах України звичайні концентрації - 1–3 г/кг. На територіях, що прилягають до підприємств переробки, видобутку нафти, фон досягає 6 г/кг. Згідно з КД 41-5804046-200-91[24] ОДК для ґрунту складає 4 г/кг. З огляду на фізико-географічні умови України, а також характер землекористування, що впливають на процеси самоочищення при забрудненні природного середовища НП, для практики проведення робіт з детоксикації НП у ґрунті доцільно прийняти наступні ступені градації забруднення ґрунтів НП (з урахуванням кларку): незабруднені ґрунти - до 1,5 г/кг; слабке забруднення - від 1,5 до 5 г/кг; середнє забруднення - від 5 до 13 г/кг; сильне забруднення - від 13 до 25 г/кг; дуже сильне забруднення - більш 25 г/кг Слабке забруднення може бути ліквідоване в процесі самоочищення ґрунту в найближчі 2 – 3 роки, середнє – протягом 4 – 5 років. Початком серйозної екологічної шкоди є забруднення ґрунту НП у концентраціях, що перевищують 13 г/кг, тому що при цих концентраціях починається міграція НП у підгрунтові води, істотно порушується екологічна рівновага в ґрунтовому біоценозі [23]. Треба думати, що концентрації менш 5 г/кг відповідають зоні екологічної норми (*Н*), 5- 13 г/кг – ризику (*Р*), 13-15 г/кг – кризи (*К*) і більш 25 г/кг – зони лиха (*Л*).

Слід зазначити, що ступінь забруднення ґрунтового покриву НП не завжди відбивається на їх транслокації (а, отже, і на якості сільськогосподарської продукції), що, очевидно, пов'язано з гідрофобністю більшості вуглеводних і невуглеводних фракцій.

У районах сільськогосподарської діяльності і гідромеліоративного освоєння земель забруднення ґрунту й інших компонентів ГС пов'язане, насамперед, із внесенням азотних, калійних і фосфорних добрив, обробкою культурних рослин пестицидами (табл. 2.11). Нормування забруднення ґрунтів з розробкою науково обґрунтованих ГДК – задача складна і ще далеко невирішена як в Україні, так і в інших країнах.

Таблиця 2.11 – Сільськогосподарські джерела забруднення ґрунтів токсичними хімічними елементами [25]

| ХЕ | Надходження забруднюючих речовин, мг/кг сухого ґрунту: | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | при зрошенні | з фосфорними добривами | с вапняком | с азотними добривами | с органічними добривами | с пестицидами |
| As | 2-26 | 2-1200 | 0,1-24 | 2,2-120 | 3-25 | 22-60 |
| Cd | 2-1500 | 0,1-170 | 0,04-0,1 | 0,05-8,5 | 0,3-0,8 | - |
| Co | 2-260 | 1-12 | 0,4-3 | 5,4-12 | 0,3-24 | - |
| Cr | 20-40600 | 66-245 | 10-15 | 3,2-19 | 25,2-55 | - |
| Cu | 50-3300 | 1-300 | 2-125 | 1-15 | 2-60 | 15-50 |
| F | 2-7 | 8500-38000 | 300-740 | - | - | 18-45 |
| Hg | 0,1-55 | 0,01-1,2 | 0,05 | 0,3-2,9 | 0,09-0,2 | 0,8-42 |
| Mn | 60-3900 | 40-2000 | 40-1200 | - | 30-550 | - |
| Mo | 1-40 | 0,1-60 | 0,1-15 | 1-7 | 0,05-3 | - |
| Ni | 16-5300 | 7-38 | 10-20 | 7-34 | 7,8-30 | - |
| Se | 2-9 | 0,5-25 | 0,08-0,1 | - | 2,4 | - |
| Pb | 50-3000 | 7-225 | 20-1250 | 2-27 | - | 15-60 |
| Sn | 40-700 | 3-19 | 0,5-4 | 1,4-16 | - | - |
| Zn | 700-49000 | 50-1450 | 10-450 | 1-42 | - | 1,3-25 |

За ступенем шкідливості хімічні речовини, на які розроблено ГДК складають наступний умовний ряд (по зменшенню негативного впливу): пестициди і їх метаболіти (ДДТ і ДДЕ) – важкі метали – НП – сіркоорганічні сполуки. Як уже відзначалося, крім ГДК використовуються ОДК, що визначаються розрахунковим шляхом. Багато які хімічно небезпечні ЗР (ПАУ, бенз(а)пірен, Pb і ін.) можуть фіксуватися в ґрунтах на значному віддаленні від джерел викиду.

При оцінці стійкості ґрунтів до ЗР використовуються короткочасні і довгострокові зміни ґрунтів і показники ранньої діагностики змін у ґрунтовому покриві. Довгострокові зміни ґрунтів (5-10 років) діагностуються за вмістом гумусу, відношенню вуглецю гумінових кислот до вуглецю фульвокислот, вмісту солей, загальній лужності і кислотності, а також по втратах ґрунтів через ерозію. Короткочасні зміни ґрунтів (2-5 років) діагностуються по динаміці вологості, складу ґрунтових розчинів, вмісту живильних речовин, величині pH і т.д.

Основним параметром, що характеризує здатність ґрунтів до самоочищення, є час самоочищення, тобто інтервал, протягом якого вміст ЗР зменшується на 95% від початкового значення. Якщо час самоочищення може складати від декількох днів до декількох років, то відновлення ґрунтового покриву набагато триваліший процес (сотні років).

Санітарно-гігієнічна оцінка ґрунтів дається по наявності патогенних мікроорганізмів, що є збудниками сибірської виразки, холери, тифу, дизентерії й ін. Особливу групу паразитарних захворювань, що поширюються через ґрунти, складають гельмінти.

У тих випадках, коли на ЗР немає ГДК, визначення ступеня забруднення проводиться в порівнянні з фоновими чи кларковими значеннями, зафіксованими апріорі на незабруднених територіях. При цьому необхідно диференціювати ЗР за класом небезпеки. Для ґрунтів, наприклад, за ДСТ 17.4.1.02-83 (табл. 2.12).

Таблиця 2.12 – Загальна оцінка ступеня забруднення компонентів літосфери з виділенням класів станів [1]

| Оцінний показник | Класи (зони) екологічного стану | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ***З* (*Н*)** | ***УЗ* (*Р*)** | ***НЗ* (*К*)** | ***К* (*Л*)** |
| Концентрація всіх елемен-тів і сполук | фонові чи < 1ГДК | компоненти 2 і 3-го класів небезпеки в межах 1-5 ГДК; 1 класу – на рівні 1ГДК | компоненти 2 і 3-го класів небезпеки в межах 5-10 ГДК; 1 класу – 1-5 ГДК | компоненти 2 і 3-го класів небезпеки > 10 ГДК; 1 класу – > 5 ГДК |

Для оцінки фонових значень показників ґрунтів необхідне виявлення ділянок, де ґрунтовий покрив ще не був під впливом сільськогосподарської діяльності. Одним з методів оцінки техногенної «непорушності» ґрунтів і порід зони аерації є характер розподілу $^{137}Cs$ - одного з компонентів глобальних радіоактивних викидів після початку іспитів ядерної зброї в 1954-1966 р. Цей ізотоп цезію сорбується ґрунтом у верхніх 5 см, якщо даний ґрунт «цілина»; якщо ж вона оброблялася, перемішалася і т.д., то розподіл $^{137}Cs$ по профілю буде рівномірним чи більш складним.

Для окремих компонентів ГС існують більш диференційовані показники оцінки. Для *донних відкладів* не розроблені ГДК, тому при оцінці їх забруднення виникає необхідність у ГДК, розроблених для ґрунтів, або слід звертатися до фонових концентрацій від точки відліку нормального геохімічного складу донних відкладів . Гідродинамічні і ресурсні показники для донних відкладів не розроблено, хоча існує гостра необхідність оцінки техногенного забруднення (наприклад, при проведенні днозаглиблювальних робіт і дампінгу ґрунтів). При розгляді *ґрунтів* як першого геохімічного бар'єру, оцінку їх техногенного забруднення можна проводити за показниками, які наведені в табл. 2.2.

Що ж стосується прямих показників техногенного забруднення *підземних вод,* то вони базуються на ГДК і БНіП і забезпечені відповідними нормативно-методичними документами. Критерії оцінки

ступеня забруднення ПВ у зоні впливу господарських об'єктів приведені в табл. 2.13.

Таблиця 2.13 – Критерії оцінки ступеня забруднення підземних вод у зоні впливу господарських об'єктів [2 ]

| Обумовлені параметри | Критерії оцінки | | |
|---|---|---|---|
| | зона екологічного лиха | надзвичайна екологічна ситуація | відносно задовільна ситуація |
| *основні показники*: вміст ЗР (нітрати, феноли, важкі метали, СПАР, НП), од. ГДК | > 100 | 10-100 | 3-5 |
| Хлорорганічні сполуки, ед. ГДК | > 3 | 1-3 | < 1 |
| бенз(а)пірен, од. ГДК | > 3 | 1-3 | < 1 |
| площа області забруднення, км$^2$ | > 8 | 3-5 | < 0,5 |
| мінералізація, г/л | > 100 | 10-100 | < 3 |
| *додаткові показники:* | | | |
| розчинений кисень, мг/л | < 1 | 1-4 | > 4 |

Оцінки на основі ГДК мають ряд недоліків: 1) не враховуються ефекти накопичення ЗР у результаті переходу з одного середовища в інше, у міру переміщення по трофічному ланцюзі, а також процеси трансформації при міграції; 2) санітарно-гігієнічні норми застосовуються у разі коли вторинні природні процеси не є визначальними, що обмежує можливості їх використання; 3) підходи орієнтовані на напівлетальні дози, а потім граничні концентрації; залежності «доза – час – ефект», на підставі яких розробляються ГДК, близькі між собою в діапазоні високих доз і істотно розрізняються в діапазоні низьких доз; 4) ГДК встановлюються в експерименті переважно на пацюках і мишах, які найбільш стійкі до токсикантів, а тому можливість екстраполяції їх на організм людини дуже сумнівна [2].

Оцінка рівня аномальності вмісту ХЕ проводиться за *коефіцієнтом концентрації* ($K_c$), що розраховується як відношення вмісту елемента і-го виду в досліджуваному об'єкті ($C_i$) до фонового значення ($C_ф$):

$$K_c = C_i / C_ф \qquad (2.2)$$

Замість фонового значення ЗР можна використовувати його величину ГДК; у цьому випадку визначається *коефіцієнт техногенного геохімічного навантаження* ($K_i$):

$$K_i = C_i / C_{ГДК}, \qquad (2.3)$$

де $C_i$ - концентрація компонента (ЗР) і-го виду; $C_{ГДК}$ – ГДК компонента (ЗР) і-го виду.

У випадку полікомпонентної техногенної аномалії розраховується *сумарний показник забруднення* (*СПЗ*) по формулі:

$$СПЗ = \sum_{i=1}^{n} K_i - (n-1), \qquad (2.4)$$

де $n$ – число компонентів, що враховуються.

Як критерій оцінки еколого-геохімічного стану компонентів ОПС використовується *сумарний показник вмісту токсикантів* ($Z_c$), що являє собою суму коефіцієнтів концентрацій металів, обумовлених при оцінці забруднення, за винятком числа металів, зменшеного на одиницю:

$$Z_c = \sum_{i=1}^{n} K_c - (n-1), \qquad (2.5)$$

де $K_c$ - коефіцієнт концентрації (формула 2.2); $n$ – число ХЕ, що входять в асоціацію.

За значеннями $Z_c$ для важких металів запропоновано оціночна шкалу системи «ґрунт – людина» [12]: 1) припустимий ступінь забруднення ($Z_c$ < 16); 2) помірний ступінь забруднення ($Z_c$ = 16-32); 3) небезпечний ступінь забруднення ($Z_c$ = 32-128); 4) надзвичайно небезпечний ступінь забруднення ($Z_c$ > 128). При цьому не враховуються класи гігієнічної небезпеки; той самий ступінь забруднення може бути викликаний різними важкими металами.

Для визначення ступеня забруднення річкових донних відкладів важкими металами можна використовувати «*ігео-класи*» (табл. 2.14):

$$I - geo_n = Log\ 2\ (C_n / 1{,}5\ B_n), \qquad (2.6)$$

де $C_n$ - вімерена концентрація ХЕ $n$ у донних відкладеннях (фракція менш 0,020 мм); $B_n$ – геохімічна фонова концентрація ХЕ; $n$ визначається по [27], чи за даними спеціальних регіональних досліджень, множення на 1,5 виконується для урахування природних флуктуацій.

Таблиця 2.14 - Значення концентрацій
основних важких металів по ігео-класам [26]

| ХЕ | Фон | Ігео-класи (класи геоакумуляції) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Fe | 4,72 | 7,08 | 14,16 | 28,32 | 56,64 | > 56,64 | - | - |
| Mn | 850 | 1275 | 2550 | 5100 | 10200 | 20400 | 40800 | > 81600 |
| Cd | 0,3 | 0,45 | 0,9 | 1,8 | 3,6 | 7,2 | 14,4 | > 28,8 |
| Zn | 95 | 142,5 | 285 | 570 | 1140 | 2280 | 4560 | > 9120 |
| Pb | 20 | 30 | 60 | 120 | 240 | 480 | 960 | > 1920 |
| Cu | 45 | 67,5 | 135 | 270 | 540 | 1080 | 2160 | > 4320 |
| Ni | 68 | 102 | 204 | 408 | 816 | 1632 | 3264 | > 6528 |
| Co | 19 | 28,5 | 57 | 114 | 228 | 456 | 912 | > 1824 |
| Cr | 90 | 135 | 270 | 540 | 1080 | 2160 | 4320 | > 8640 |
| As | 13 | 19,5 | 39 | 78 | 156 | 312 | 624 | > 624 |
| Hg | 0,4 | 0,6 | 1,2 | 2,4 | 4,8 | 9,6 | 19,2 | > 38,5 |

*Примітка*: концентрації ХЕ в мг/кг, Fe – в %.

За значеннями $I - geo_n$ можна характеризувати рівень забруднення донних відкладів і техногенне навантаження на водні ЕС (табл. 2.15).

Таблиця 2.15-Характеристика рівня забрудненості
донних відкладів по ігео-класам
і техногенного навантаження на водні екосистеми [26,2]

| Ігео-клас | Рівень забруднення важкими металами (за Г. Мюллером) | Техногенне навантаження на водні екосистеми | Екологічні зони. Класи екологічного стану |
|---|---|---|---|
| 0<br>1 | незабруднений<br>від незабрудненого до задовільно забрудненого | слабке (мало небезпечне) | зона норми; клас задовільного стану |
| 2<br><br>3 | задовільно забруднений<br><br>середньо забруднений | задовільне (задовільно небезпечне) | зона ризику; клас несприятливого стану |
| 4<br><br>5 | сильно забруднений<br>від сильно забрудненого до надзвичайно забрудненого | сильне(небезпечне) | зона кризи; клас дуже несприят-ливого стану |
| 6 | надзвичайно забруднений | надзвичайне (надзвичайно небезпечне) | зона лиха; клас катастрофічного стану |

Біохімічні показники порушення екологічної обстановки засновані на виявленні аномалій вмісті ХЕ в рослинах. Як відзначає В.В. Єрмаков [28], рослини є інтегральним показником вмісту токсичних ХЕ в ґрунтах. Речовина із літосфери надходить в зону мінерального харчування рослин і ХЕ включаються в трофічні ланцюги. Наприклад, це можуть бути важкі метали, що викидаються гірничо-металургійними комбінатами чи

автотранспортом, які проникають у клітинні структури з ґрунтовим розчином. Розглядаються нижні і верхні граничні концентрації (гомеостатичне плато). Вміст токсичних і біологічно активних мікроелементів відзначають у зазначених рослинах на дослідних площадках і в рослинних кормах; можна помітити також ХЕ в сухій масі листя і хвої дерев. Приклади оцінки екологічного стану територій за біогеохімічними критеріями наведені в табл. 2.16.

***Геофізична група критеріїв.*** Критерії оцінки геофізичних *полів* розроблені вкрай слабо. Практично для всіх геофізичних полів можна говорити про порогові значення прямих критеріїв оцінки (кВ/м, В/м і т.д.), виражених через *гранично припустимі рівні* (ГПР), що відбивають гігієнічний норматив впливу електричних і електромагнітних полів на людський організм. Електромагнітне забруднення виникає внаслідок зміни електромагнітних властивостей середовища (поблизу ліній електропередач, радіо- і телевізійних антен, деяких промислових установок і т.д.), що призводить до геофізичних аномалій і змін у біосистемах. При тривалому впливі електромагнітних полів навіть у здорових людей відмічаються підвищена стомлюваність, головний біль, апатія і т.д. Негативний вплив електромагнітного поля виявляється 1000 вольт на метр. Найбільш чутливою є нервова система, порушення якої призводять до негативних змін інших систем організму. У зв'язку із зростанням кількості радіостанцій, працюючих в ультракоротких хвильових діапазонах, відмічено погіршення здоров'я людини. Небезпечним є вплив і електромагнітних випромінювань від мереж електропередач та інших джерел.

Виділяються наступні значення напруженості електромагнітного поля в кВ/м для населення: 0,5 у житлових будинках; 1,0 – у межах житлової забудови, 10 - на перетинанні ЛЕП з автодорогами; 15- у межах сільгоспугідь; 20 - у важкодоступній місцевості [30]. З урахуванням частотного діапазону радіохвиль ГПР електромагнітного поля для населених місць складають: довгі радіохвилі (частота 300 кГц, довжина 10-1 км) – 20 В/м; середні (частота 0,3-3,0 мГц, довжина 1,0-0,1 км) – 10 В/м; короткі (частота 3-30 мГц, довжина 100-10 м) – 4 В/м; ультракороткі (частота 30-300 мГц, довжина 10-1 м) – 2 В/м. Для магнітних полів за закордонними джерелами інформації ГПР не повинний перевищувати 50000 нТл, тобто напруженості геомагнітного поля Землі. Що стосується вібраційних полів, то їх вплив важко оцінювати, тому що резонансні частоти окремих частин людського організму (поля) відрізняються між собою на 1-20 Гц і, крім того, залежать від вібропереміщення (мм), частоти (Гц) і віброприскорення (м/с$^2$). Несприятливий вплив на організм людини здійснює вібрація з частотами 1-30 Гц [31].

Таблиця 2.16 - Окремі біохімічні показники
оцінки екологічного стану територій [29]

| ХЕ | Ступінь екологічної несприятливості | | | Відносно задовільний стан |
|---|---|---|---|---|
| | ***Л*** | ***К*** | ***Р*** | ***Н*** |
| *1. Концентрація мікроелементів в укосах, пасовищних рослинах і рослинних кормах (мг/кг сухої речовини)* | | | | |
| Zn | < 2 або > 500 | 2-10 або 100-500 | 10-20 або 60-100 | 2-60 |
| Cu | < 0,5 або > 100 | 0,5-2 або 80-100 | 2-20 або 20-80 | 5-20 |
| Co | < 0,01 або > 50 | 0,05-0,01 або 5-50 | 0,05-0,02 або5-10 | 0,2-1,0 |
| Mo | < 0,2 або > 50 | 0,2-0,5 або 10-50 | 0,5-1,0 або 3-10 | 1-3 |
| B | < 1 або > 300 | 0,1-0,5 або 100-300 | 0,5-1,0 або 30-100 | 1-30 |
| F | < 1 або > 200 | 1-3 або 100-200 | 3-5 або 30-100 | 5-30 |
| I | < 0,05 або > 20 | 0,05-0,1 або 5-20 | 0,1-0,2 або 2-5 | 0,2-2,0 |
| Se | < 0,01 або > 50 | 0,01-0,03 або 10-50 | 0,03-0,05 або 2-10 | 0,05-1,0 |
| 2. Вміст високотоксичних ХЕ в кормах и укосах рослин (перевищення МДУ, разів) | | | | |
| As, Cd, Cr, Pb, Hg, Ni, Sb | > 10 | 5-10 | 1,5-5 | 1,1-1,5 |
| 3. Вміст токсичних ХЕ в рослинах і рослинних кормах (перевищення фонової концентрації, разів) | | | | |
| Ba, Be, Tl | > 10 | 5-10 | 1,5-5 | 1,1-1,5 |
| 4. Відношення кальцію до фосфору в кормах | | | | |
| Ca:P | < 1 або > 30 | 0,1-0,4 або 10-30 | 0,4 -1,0 або 3-10 | 1-3 |
| 5. Відношення кальцію до стронцію в кормах и укосах рослин | | | | |
| Ca:Sr | < 1 | 1-10 | 10-50 | > 50-100 |
| Геохі-мічний вплив | небезпечне | сильне | задовільне | слабке |

*Критерії оцінки забруднення ПЧЛ радіонуклідами.* Оцінка дії іонізуючої радіації на живу речовину оцінюється поглиненою дозою (у греях – Гр), чи ефективною дозою (у зивертах – Зв). Для оцінки активності компонентів літосфери часто використовуються внесистемні одиниці – кюрі (Ки), а для експозиційної дози - рентгени (*Р*), поглиненої дози - рад, ефективної дози – бери. Наприклад, для забруднених територій Росії встановлене ГПР середньорічної ефективної еквівалентної дози опромінення у 1 мЗв (0,1 бер), якому відповідає щільність радіоактивного забруднення ґрунту і порід зони аерації $^{137}Cs$ у 1 Ки/км$^2$ (розробки АН СРСР для районів, що постраждали від аварії на ЧАЕС, затверджені урядом РФ 17.05.1991 р.) Нижче цих значень умови проживання населення

і трудова діяльність не вимагає яких-небудь обмежень. У межах територій, де щільність радіоактивного забруднення $^{137}Cs$ перевищує зазначений норматив, виділяються відповідні зони (табл. 2.17).

Таблиця 2.17 – Відношення зон відселення и обмеження проживання с класами стану геологічного середовища [1 ]

| Зони | Оціночні критерії | | | Класи стану |
|---|---|---|---|---|
| | $^{137}Sr$ | $^{90}Sr$ | $^{239}Sr$ | |
| Зони відчуження (заборонено постійне проживання) | > 40 Ки/км$^2$ | - | - | лиха (*Л*) |
| Зони виселення (населення підлягає виселенню) | 4 -15 Ки/км$^2$ > 5 мЗв (0,5 бер) | > 1 Ки/км$^2$ | > 1 Ки/км$^2$ | |
| Зони проживання с правом виселення (постійний медичний контроль, обов'язкові заходи) | 15 - 5 Ки/км$^2$ > 1 мЗв (0,1 бер) | - | - | кризу (*К*) |
| Зони проживання с льотним соціально-економічним статусом | 5 - 1 Ки/км$^2$ < 1 мЗв (< 0,1 бер) | - | - | ризику (*Р*) |
| Зони нерегламентованого проживання | < 1 Ки/км$^2$ < 1 мЗв (< 0,1 бер) | - | - | норми (*Н*) |

Таким чином, існують походи оцінки сучасного стану ЕС і їх абіотичної частини – літосфери на основі комплексу критеріїв, що дозволяють зробити наступні висновки:

1. Оцінка еколого-геологічного стану території базується на використанні як прямих нормованих критеріїв оцінки її компонентів (ДСТ, ЗНіП, ГДК, ГПР та ін.), так і непрямих показників (тематичних, площових і динамічних) самої літосфери і взаємозалежних з нею природних середовищ.

2. Забезпеченість оцінки стану літосфери прямими оціночними критеріями істотно різна як за складовими її компонентів (породи, підземні води, рельєф, ґрунти, донні відкладення), так і по функціональному статусу цих компонентів. Найбільш розроблені геохімічні і гідродинамічні критерії, а показники ресурсного значення літосфери й оцінки геофізичних полів почали розроблятися лише на якісному рівні.

3. Існуюча нормативна база для прямих критеріїв оцінки (ГДК, ГПР і т.д.) має потребу в систематичному удосконалюванні, щоб давати адекватне уявлення про рівень біологічного дискомфорту тієї чи іншої території.

## Контрольні питання для самоперевірки

1. Які виділяються рівні (класи) природно-антропогенних порушень ?
2. Що є показники норми, ризику, кризи, катастрофи та лиха ?
3. У чому полягає ресурсні критерії оцінки еколого-геологічних умов ?
4. У чому полягає гідродинамічні критерії оцінки еколого-геологічних умов ?
5. У чому полягає геохімічні критерії оцінки еколого-геологічних умов територій ?
6. У чому полягає геофізичні критерії оцінки еколого-геологічних умов територій ?
7. Які особливості забруднення ґрунтів нафтопродуктами ?
8. Які особливості радіонуклідного забруднення ґрунтів ?
9. Які особливості хімічного забруднення донних відкладень ?

# 3 ОСНОВНІ ПРИЧИНИ ТА НЕГАТИВНІ НАСЛІДКИ ЗАБРУДНЕННЯ ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА

## 3.1 Основні форми техногенного порушення і забруднення геологічного середовища

Верхній шар літосфери (приблизно до 10 км) прийнято називати "надрами", він використовується людиною для видобутку корисних копалин. Сучасний технічний прогрес базується на всезростаючому використанні природних ресурсів, в тому числі мінеральних ресурсів. Із надр вилучається близько 150 млрд. т гірських порід, в тому числі понад 20 млрд. т корисних копалин. В близькому майбутньому ця кількість збільшується у 4-6 разів. При сучасній технології видобутку і використанні корисних копалин тільки 1-5% від всього об'єму вилученого із надр реалізується у вигляді продуктів виробництва, а решта є відходами. Щорічно в світі утворюється близько 18 млн. т огаркових відвалів. При виробництві калійних добрив із *KCl*, на кожну тонн отриманого сильвініту утворюється 2,5-3,0 т відходів галіту, які складуються у вигляді солевідвалів (висотою до 25-30 м) і на які відводяться значні земельні ресурси. При отриманні 1 т $P_2O_5$ із апатитів і фосфоритів утворюється 4,25-5,5 т фосфогіпсу, який в більшості випадків іде у відвали; можливість його практичного використання дуже незначна (до 2%).

Для вилучення того чи іншого корисного компонента із мінеральної сировини використовується ряд послідовних процесів, які супроводжуються утворенням твердих відходів. Більшість твердих відходів є токсичними і негативно впливають на стан довкілля. Основними забруднювачами ГС є підприємства гірничої, гірничо-хімічної, машинобудівельної, хімічної та інших галузей промисловості. Головними джерелами забруднення ГС є підприємства металургійної промисловості, які викидають мільйони тонн шлаків з такими хімічними сполуками як $SiO_2$, $Al_2O_3$, $CaO$, $MnO$, $FeO$, $Fe_2O_3$, $U_2O_5$, $TiO_2$, $K_2O$, домішки рідкісних ХЕ і т.д. Крим цього, різні види металургійного виробництва дають великі маси різноманітних за складом шлаків і пилу, які видаляються на звалища і займають значні земельні площі. Під впливом водної і вітрової міграції ЗР із звалищ розповсюджуються і забруднюють НПС [5].

Величезна кількість мінеральних природних ресурсів перероблюється на підприємствах хімічної промисловості. Відходи виробництва неорганічної продукції (сірчаної кислоти, калійних добрив, фосфатної кислоти, фосфатних добрив і т.д.) є значними забруднювачами ГС і інших природних середовищ.

Форми порушення і забруднення найбільш характерні для *гірничо-видобувних підприємств*. Форма порушення або забруднення – це окреслено межею (у вигляді контуру чи ареалу) територіально-структурна

одиниця гірничого виробництва в рамках ГС. За даними М.Д. Бойчука [5] в зоні впливу гірничого виробництва характерні геомеханичні (деформації масиву порід і земної поверхні, провали, виїмки, насипи, забудови), гідродинамічні (гідрологічні – поверхневі, гідрогеологічні – підземні), аеродинамічні (приземні) *порушення*, а також літосферні (поверхні), гідросферні (з розчиненими хімічними, твердими і газоподібними речовинами), атмосферні (з твердими, рідкими, газоподібними і пароподібними речовинами) та біоценотичні (фіто-, зоо- і микробоценози) *забруднення*. Гірниче виробництво негативно впливає на стан елементів НПС: 1) *землі, ґрунт* (ландшафт) – деформації земної поверхні, порушення ґрунтового покриву, зменшення площі продуктивних угідь різного призначення, погіршення якості ґрунтів, зміна вигляду територій, зміна стану поверхневих і ґрунтових вод, осідання пилу і хімічних сполук внаслідок викидів в атмосферу, ерозійні процеси; 2) *надра* – зміна напружено-деформованого стану масиву гірських порід, зниження якості корисних копалин і промислової цінності родовищ, забруднення надр, розвиток карстового процесу, втрата корисних копалин; 3) *водний басейн, води підземні* – зменшення запасів поверхневих і підземних вод, порушення гідрологічного і гідрогеологічного режимів водного басейну; 4) *води поверхневі* - забруднення водного басейну стічними і дренажними водами, погіршення якості вод в результаті несприятливих змін гідрохімічних і біологічних режимів природних вод; 5) *повітряний басейн* – забруднення (запилення і загазування) атмосфери; 6) *флора і фауна* – погіршення умов існування лісової, степової і водяної флори і фауни, міграція і скорочення чисельності диких тварин, пригнічення і зменшення чисельності дикорастучих рослин, спад урожайності сільськогосподарських культур, зниження продуктивності тваринництва, рибного і лісового господарств.

ГС в межах *урбанізованих територій* характеризується цілим рядом особливостей, до числа яких відносяться наявність штучних ґрунтів, значна закритість поверхні землі твердим покриттям, будівлями. Це доповнюється складним комплексом природних і штучних процесів, які відбуваються в межах ґрунтової товщі. Виникають особливі геофізичні і геохімічні поля, що впливають на стан ГС і умови існування живих організмів і людини.

ГС є літологічним простором для будівництва різних інженерних споруд і комунікацій, тому важливе значення мають інженерно-геологічні аспекти оцінки геолого-екологічних умов. У зв’язку з цім при проведенні інженерно-геологічних досліджень звичайно розглядують закономірності розвитку, методи прогнозу та інженерного захисту від таких процесів і явищ, як сельові прояви, болота і заболочені землі, карст, зсуви, сейсмічні явища та інше [5].

## 3.2 Основні причини та негативні наслідки техногенного забруднення ґрунтів

*Ґрунти* - узагальнене найменування будь-якої гірської породи (осадової, магматичної, метаморфічної), яка залягає переважно в межах зони вивітрювання земної кори і що розглядається з інженерно-геологічної (будівельної) точки зору при загальному підході до особливостей земної поверхні (тверда, пухка, мерзла) і власне ґрунтів. *Родючий грунт* - особливе органо-мінеральне природноісторичне утворення, яке виникло внаслідок впливу живих організмів на мінеральний субстрат і розкладу мертвих організмів, впливу природних вод і атмосферного повітря на поверхневі горизонти гірських порід у різних умовах клімату і рельєфу в гравітаційному полі Землі [32].

Постійне зниження площі і об'єму літобіосфери (у т.ч. і педосфери) відбувається під впливом природних і антропогенних факторів. До перших відносяться: природна ерозія; природні шкідники, хвороби і бур'яни; зростання народонаселення. Основними антропогенними факторами забруднення і вилучення землі є: технічне перетворення (підземне будівництво, видобуток корисних копалин); штучна ерозія (осушування боліт, оголення землі та ін.); хибне господарювання (змінення гідрологічного режиму, неефективне сільськогосподарське виробництво, випалювання рослинності, винищування лісів); забруднення (теплоенергетичне, транспортне, сільськогосподарське, комунально-побутове, промислове); відвід під будівництво (гідротехнічне, транспортне, промислове, житлове). Якщо під впливом природних факторів не порушується рівновага й хід звичних геологічних процесів, то під впливом антропогенних факторів відбуваються негативні процеси, які призводять до деградації та виснаження ґрунтів, виключення їх з сільськогосподарського користування.

Найбільшу шкоду литобіосфері й педосфері наносить *ерозія* - руйнування гірських порід, ґрунтів або будь-яких інших поверхонь з порушенням їх цілісності і зміною їх фізико-хімічних властивостей, які звично супроводжуються переносом частинок з одного місця на інше. Причинами ерозії у природі є: вітер (вітрова ерозія або *дефляція*), різкі коливання температури повітря й поверхонь об'єктів, вода (водна ерозія), яка переміщується, водорозчинні кислоти, хімічне і фізичне забруднення середовища, вплив біологічних агентів (витоптування, біохімічний вплив і т.д.). Причинами втрати ґрунтів є: неправильна оранка, надмірна експлуатація пасовищ (без урахування місткості середовища), знищення рослинного покриву (передусім лісів), зрошування, засолення тощо.

Близько 15% поверхні суші деградовано під впливом антропогенної діяльності (55,7% порушень викликано водною ерозією, 28% - вітровою ерозією, 12,1% - хімічним впливом, 4,2% - фізичним впливом). Насамперед

відбувається забруднення ґрунту як найбільш доступного елемента верхньої частини земної кори. Цей процес виключно небезпечний, оскільки орні землі складають близько 10% території суші, а пасовища і сінокоси - 20%. Так, за порівняно короткий період з 1950 по 1977 рік площа орної землі на душу населення в колишньому СРСР скоротилася з 1,06 до 0,87 га, незважаючи на освоєння нових земель. При загальній площі України 60,4 млн. га на ріллю припадає 34,2 млн. га (54,96%), луки - 6,17 млн. га (10,2%). У окремих степових і лісостепових районах розорані землі складають 80-90%, що є небажаним в економічному і екологічному плані, оскільки різко зменшується загальний природний потенціал території (для порівняння: Франція і Туреччина, які мають приблизно таку ж чисельність населення, характеризуються набагато меншими площами розораних земель - відповідно 17 і 19 млн. га). Через водну ерозію втрачається значна кількість ґрунту. Так, за 1966-1991 рр. (25 років) вміст гумусу зменшився з 3,5 до 3,2% [33].

*Хімічне забруднення ґрунтів* відбувається в основному через викиди підприємств промисловості, енергетики та автотранспорту, а також хімізацію сільського господарства. Воно зберігається упродовж тривалого часу, тому що здатність ґрунтів до самоочищення невелика або її може не бути зовсім (це залежить, головним чином, від ступеня динамічності вод зон аерації й насичення). Найбільш згубний вплив справляють кислотні дощі, які руйнують структуру ґрунтів, нищать мікроорганізми і привносять у ґрунти токсичні речовини. Значну шкоду ґрунтам наносить забруднення важкими металами, найбільш небезпечними із яких є *Hg, Pb, Cd, Ni, Cu, Zn*. Виробнича діяльність людини призводить до забруднення важкими металами і іншими токсичними речовинами майже до утворення антропогенних геохімічних аномалій навколо промислових центрів і вздовж автомагістралей. Внаслідок роботи металургійних підприємств на поверхню ґрунтів щорічно викидається не менше ніж 150 тис. т *Cu*, 122 тис. т *Zn*, 90 тис. т *Pb*, 12 тис. т *Ni*, 1500 т *Mo*, 800 т *Co* і 31 т *Hg*. Свинець надходить також разом із викидами автотранспорту (поблизу автотрас на відстані до 200 м вміст *Pb* в 25-30 разів вищий, ніж у звичайних районах), а ртуть - з отрутохімікатами. Суперфосфатні заводи забруднюють ґрунти недогарковим пилом, який містить *Fe, Cu, As, Pb, F*. Внаслідок спалювання каустобіолітів на земну поверхню щорічно надходить 1600 т *Hg*, 3600 т *Pb*, 2100 т *Cu*, 7000 т *Zn*, 3700 *Ni*, а з вихлопними газами - 260 тис. т *Pb*. Деякі промислові підприємства перекачують до хвостосховищ, шламових ставів та накопичувачів різноманітні солі кольорових і важких металів, ціаніди, сполуки миш'яку, аренові вуглеводні. Кожний $м^2$ ґрунтів щорічно поглинає із атмосфери 6 кг шкідливих речовин, що призводить до концентрування цих компонентів у ґрунтах, змінення фізико-хімічних властивостей останніх.

У розвинених країнах відбувається зростання сільськогосподарської продукції на 50-60%, пов'язане із застосуванням мінеральних добрив, що дозволяє задовольнити потреби рослин у основних елементах споживання, а також значно підвищити урожайність сільськогосподарських культур. Разом із урожаєм вилучаються біогенні елементи (*N, P, K*, меншою мірою *S, Ca, Mg* та ін.). Отже, виникає необхідність внесення в ґрунт сполучень цих елементів у кількості, еквівалентній вилученій з урожаєм. Частіше за все вносять: нітрат амонію, нітрат кальцію, сульфат амонію та сечовину; фосфор вносять у вигляді суперфосфатів; кислі ґрунти нейтралізують вапняком та гіпсом. Оскільки мінеральні добрива застосовують у неочищеному вигляді, то разом з ними у ґрунти потрапляють метали й металоїди, малорухливі в цьому середовищі (мобільність збільшується у ряді: *Hg, Pb > As, Cd > Zn*). Вони накопичуються у поверхневих горизонтах, де зосереджена коренева система рослин. За допомогою кореневої системи рослини витягують із ґрунту мінеральні солі, необхідні для побудови цитоплазми (при наявності сонячної енергії і води), і тим самим транспортують частину елементів. Необхідно знати, яка кількість біогенних елементів дістається із ґрунту, щоб повернути йому ідентичну кількість з добривами. Лише такий підхід забезпечує постійність виробничої спроможності ґрунту. Якщо у лісах під час падолисту повертається в ґрунт більша частина вилучених живильних речовин (*Ca, K, P, N*), то деякі польові рослини (злакові, картопля і ін.) за певний період часу витягують із ґрунту більше біогенних елементів, ніж повертають у ґрунти (в кг/га). Бобові культури (конюшина, люцерна і ін.) є виключенням, тому що їх корені мають бульбочки (симбіотичні бактерії), які дозволяють фіксувати азот у ґрунті; у цьому випадку вилучається лише кальцій (якщо закопати люцерну, то у ґрунті накопичиться достатня кількість кальцію). Використовуючи біологічну культивацію, у ґрунт повертаються елементи у органічній формі, вилучені урожаєм, а, отже, відпадає необхідність внесення мінеральних добрив і знижується можливість забруднення ґрунтів.

Забруднення ґрунтів відбувається і внаслідок застосування *пестицидів*. Згідно з офіційним документом (ДСТУ 3180-95) до пестицидів відносяться речовини (суміш речовин) хімічного або біологічного походження, що використовуються для боротьби з організмами, які завдають шкоди сільськогосподарським культурам або запасам сільськогосподарських продуктів, для знищення небажаної рослинності, збудників хвороб і переносників хвороб тварин і рослин, а також для регулювання розвитку організмів. Пестициди за дією на шкідників поділяються на такі групи: гербіциди (засоби знищення бур'янів), інсектициди (засоби для боротьби зі шкідливими комахами), нематоциди (засоби для знищення черв'яків), фунгіциди (засоби для боротьби з грибними і вірусними захворюваннями), бактерициди (засоби

для винищення збудників хвороб) та ін. Отруйні та відстрашувальні препарати, що застосовуються задля обкурювання сільгоспугідь, тваринних дворів і побутових споруд, називають фумігантами, а речовини, які відстрашують тварин - репелентами. Окрім того, застосовуються дефоліанти - засоби для видалення листя (наприклад, бавовника під час механічного збору).

За хімічним складом розрізнюють пестициди хлорорганічні (ХОП), фосфорорганічні (ФОП), що містять *Hg, As, Pb*, і інші токсичні сполуки. До числа найбільш широко використовуваних відносяться ФОП, серед яких є високоактивні препарати різного призначення.

При характеристиці пестицидів особливо часто використовується як токсикологічний показник $LD_{50}$ - *доза середня летальна ефективна*, яка спричиняє загибель у 50% стандартної групи тварин при певному терміні такого спостереження; при введенні токсикантів в шлунок до 50 мг/кг - сильнодіючі речовини, 50-200 - високотоксичні, 200-1000 - помірно токсичні, більше за 1000 мг/кг - малотоксичні.

Для розуміння екологічної небезпеки, пов'язаної з використанням пестицидів, необхідно мати на увазі процеси міграції їх в природних середовищах. Пестициди звичайно попадають в ґрунти при їх плановому внесенні із застосуванням тих або інших технічних засобів, при використанні посадочного матеріалу, заздалегідь обробленого пестицидами, або внаслідок аварій при їх транспортуванні або зберіганні. Надалі пестициди попадають в поверхневі водотоки і донні відкладення, де вони акумулюються. При переміщенні по трофічному ланцюгу концентрації їх в процесі біоакумуляції зростають.

Норма використання пестицидів на 1 га в середньому в світі 0,3 кг (в Росії, США і країнах Західної Європи - 2-3 кг/га). Якщо світове виробництво прийняти за 100%, то на частку гербіцидів припадає 40%, інсектицидів - 35, фунгіцидів - 15, інших пестицидів - 10%.

Використання пестицидів регламентується законодавством в усіх країнах. ГДК деяких хімічних речовин у ґрунтах України (за станом на 1.01.1991 р.) у мг/кг ґрунту з урахуванням фону (кларкових значень) такі: *Cu* – 3, *Ni* – 4, *Zn* < 3, *Co* – 5, *F* – 2, *Br* – 6 (рухомі форми); *F* - 10 (водорозчинна форма); *Sb* – 4,5, *Mn* - 1500, *V* - 150, *Pb* - 30, *As* -2, *Hg* – 2,1, нітрати - 130, бенз(а)пірен – 0,02, бензол – 0,3, толуол – 0,03, комплексні гранульовані добрива -120, рідкі комплексні добрива - 80 (валовий вміст) і т.д. ГДК деяких пестицидів: ДДТ і його метаболіти – 0,1, карбофос - 2, хлорофос – 0,5 мг/кг ґрунту. У наш час в Україні нагромаджено близько 11 тис. т пестицидів, заборонених до використання, тому гостро стоїть проблема їх утилізації.

Оскільки ґрунт багаторазово піддається впливу пестицидів, то створюються сприятливі умови для їх міграції у суміжні середовища (рослини, повітря, вода). Це створює небезпеку для природних ЕС, а, отже,

і для середовища проживання людини. Залишки пестицидів виявлені у рослинній і тваринній їжі, в ПВ, відкритих водоймищах, тканинах птахів і риб, в органах і тканинах людини. За даними американських учених кожного тижня до організму людини надходить близько 1 мг пестицидів. Якщо шляхи зараження харчових продуктів - поглинання і накопичення пестицидів рослинами - не викликає сумнівів, то про шляхи проникнення пестицидів в рослини немає одностайної думки. Інтенсивність поглинання залежить від сорбційної активності ґрунтів, типу культури, побудови й властивості пестицидів. Близько 20% пестицидів виноситься з ланів рослинами, що призводить до міграції й накопичення пестицидів в трофічних ланцюгах, в біологічних об'єктах і утримання їх з рослинними залишками у ґрунті. Пестициди призводять до різних екологічних порушень. Вони спричиняють негативні наслідки для окремих видів і біоценозів у цілому. Знижується біологічний потенціал, порушується рівновага, і як це не парадоксально, іноді збільшується чисельність тієї популяції, яку намагались знешкодити. Окрім того, застосування пестицидів призводить до таких біоценотичних наслідків: зменшується рослинна і тваринна біомаса агроекосистем, відбувається збіднення вод зоопланктоном, зникають конкуруючі види і т.д.

Нераціональне застосування пестицидів в сільському господарстві призводить до акумуляції їх в ґрунтах, сільськогосподарській продукції і водах. Так, в доповіді вчених Національної Академії США, опублікованій в 1988 р., в наступні 70 років більше ніж 1 млн. американців можуть захворіти раком через наявність 28 канцерогенних пестицидів в їжі. Надходження пестицидів разом з повітрям, їжею і питною водою здатні спровокувати бурхливий розвиток онкологічних захворювань і мутацій в багатьох країнах, що розвиваються. Стійкі пестициди негативно впливають на нервову і серцево-судинну систему. Особливо чутливі до забруднення довкілля пестицидами діти. Так, в Російській Федерації в районах інтенсивного використання пестицидів загальна захворюваність дітей до 6 років в 4,6 рази вище, ніж в районах з найменшим використанням пестицидів. Забруднення пестицидами (нарівні з іншими чинниками) сприяло тому, що за 25 років в 300 раз збільшилися випадки алергічних захворювань. За даними ВОЗ щорічно отруюються пестицидами 500 тисяч чоловік, більше 5 тисяч - з летальними наслідками.

На ділянках інтенсивного впливу промислових підприємств спостерігається пригнічення рослинності аж до її повного знищення і різке зростання процесів ерозії ґрунтів. Порушується структура ґрунту, зменшується пористість, водопроникність, що різко погіршує водно-повітряний режим. У місцях сильного забруднення верхній шар ґрунту може складатися із пилових частинок аерозолів, золи, шлаку і т.д. Одними із найнебезпечніших токсичних речовин є Hg, Pb (верхній гумусовий шар),

які добре адсорбуються ґрунтами і погано вимиваються із них; *As* і *Cd* адсорбуються гірше, більш мобільний *Zn*, особливо в еродованих ґрунтах.

Пошук максимальної продуктивності при індустріальній експлуатації земель призводить до перенасичення ґрунтів мінеральними добривами. При цьому часто забувається, що підвищення врожайності має тенденцію до уповільнення, в той час як зростає кількість добрив, що вносяться. Лише 50% добрив, які вносяться у агроекосистеми США, засвоюються рослинами. При використанні добрив порушується круговорот азоту (надлишок нітратів щорічно сягає 9 млн. т), фосфору (накопичення в ґрунтах, у хімічному зв'язку з *Ca, Al* та *Fe,* далі в водоймищах, викликаючи їх евтрофікацію). Систематично в агроекосистемах руйнується і виключається з них гумус. Не повертається у землю гній, а після аміачного бродіння він забруднює водоносні шари. У містах велика кількість здатних до бродіння органічних речовин, що містяться у харчових відходах, накопичуються на звалищах.

До початку XXI сторіччя прогнозується застосування добрив дозою 300 кг/га, що приведе до надлишку $NO_3^-$, який не сорбується ґрунтами і забруднює води. Відходи тваринництва приводять до забруднення аміаком. При зрошуванні стічними водами відмічаються аномально високі концентрації $NO_3^-$ (до 400 мг/кг ґрунту) і $NH_4^+$ (до 2200 мг/кг ґрунту). Застосування низькорозчинних сполук фосфору призводить до накопичення його в ґрунтах. Застосування калійних добрив (*KCl*) призводить до накопичення в ґрунтах іонів хлору. Внаслідок неповного згоряння органічного палива утворюється канцерогенний бенз(а)пірен, який нагромаджується в ґрунтах і переміщується по трофічних ланцюгах. Велику небезпеку представляє забруднення ґрунтів важкими металами. Джерелом забруднення ґрунтів служать звалища промислових і побутових відходів. Забруднюють ґрунти довгоживучі техногенні радіонукліди ($^{129}I$, $^{226}Ra$, $^{137}Cs$, $^{239}Pu$ та ін).

При підвищенні кількості легкорозчинних солей ґрунти стають засоленими, в результаті пригнічуються і гинуть культурні рослини. Засоленість проявляється не лише при підвищеній солоності ґрунтів, але й при безсистемному поливі погано дренованих масивів, при використанні для зрошення мінералізованих вод, при підвищенні рівня ґрунтових вод.

Щорічно у ґрунтах знижується вміст гумусу (1,5-1,8 т/га в рік), що призводить до ущільнення і знижує їх водомісткість в 15-20 разів. Дегуміфікація пов'язана із зменшенням кількості і погіршенням якості органіки, що поступає в ґрунт; для запобігання цьому процесу необхідно внесення гною в кількості 8-12 т/га в рік, заорювання пожнивних залишків в ґрунт, застосування мульчування поверхні соломою і ін., використання мінеральних добрив тощо. Оптимальним вважається вміст гумусу у верхніх горизонтах чорноземів 5-7%.

Ущільнення ґрунту і погіршення його фізичних властивостей відбувається через навантаження сільськогосподарської техніки. Так, трактори здатні ущільняти чорноземи до 1,5 г/см$^3$ в шарі 0-20 см і сприяти ущільненню до глибини 60-70 см.

*Райони сільськогосподарського використання і меліоративного освоєння* характеризуються специфічним набором техногенних впливів на ГС. У залежності від виду впливів території сільськогосподарського і гідромеліоративного освоєння випробовують різне техногенне навантаження.

Із сільськогосподарською діяльністю в основному зв'язані такі техногенні впливи на ГС: 1) хімічне забруднення ґрунтів, гірських порід, підземних вод, що виникає через надлишкове внесення мінеральних добрив, використання отрутохімікатів; 2) біохімічне і мікробіологічне забруднення ґрунтів і ПВ за рахунок складування кормів, силосних ям, надлишкового внесення гною, неправильного його збереження, витоків стічних вод на тваринницьких фермах, землеробських ділянках і т.д.; 3) штучні поливи, що викликають підтоплення територій чи вторинне засолення ґрунтів, що порушують гідрогеологічний режим; 4) деградація ґрунтів, що провокується як неправильними агротехнічними прийомами, так і іншими антропогенними факторами (перевипасом худоби і т.п.).

Практично весь техногенний вплив у районах сільськогосподарської діяльності в першу чергу діє на ґрунтовий покрив. Саме ґрунт є основним індикатором стійкості ГС стосовно антропогенних навантажень, її чутливості і стійкості до антропогенних змін. Ґрунт являє собою природне утворення, де йдуть як активні процеси тепло- і масопереносу, так і акумуляції і деструкції більшості ЗР антропогенних походжень. Однак буферна здатність ґрунтів обмежена. Тому важливо правильно організувати інформативну систему ґрунтового моніторингу в районах сільськогосподарської діяльності і меліоративного освоєння як підсистеми моніторингу ГС.

Основними задачами ґрунтового моніторингу є: 1) вранішнє виявлення несприятливих змін властивостей ґрунтового покриву при різних видах його використання; 2) контроль стану ґрунтового покриву по сезонах року (динаміка властивостей) під сільськогосподарськими культурами для видачі своєчасних рекомендацій із застосування регулюючих заходів; 3) оцінка середньорічних утрат ґрунтів (швидкості втрат ґрунтового покриву в результаті дощової, вітрової й іригаційної ерозії); 4) виявлення районів з дефіцитним балансом біогенних елементів, виявлення й оцінка швидкості втрат гумусу, азоту і фосфору; 5) контроль за зміною кислотності і лужності ґрунтів, особливо в районах із внесенням високих доз мінеральних добрив, використанні при меліорації промислових відходів, а також поблизу великих промислових центрів – джерел підкислення атмосферних опадів; 6) контроль за сольовим

режимом зрошуваних і ґрунтів, що удобрюються; 7) контроль за забрудненням ґрунтів важкими металами; 8) контроль за локальним забрудненням ґрунтів важкими металами в зоні впливу промислових підприємств і транспортних магістралей, а також забруднення пестицидами в районах їх постійного використання; 9) довгостроковий і сезонний (по фазах розвитку рослин) контроль за вологістю, температурою, структурним станам, водно-фізичними властивостями ґрунтів і вмістом у них елементів харчування рослин; 10) оцінка ймовірної зміни властивостей ґрунтів при проектуванні гідробудівництва, меліорації, упровадженні нових систем землеробства, добрив і т.д.; 11) контроль за розмірами і правильністю відчуження пахотно-придатних земель для промислових і комунальних цілей [4 ].

У зонах гідромеліоративного освоєння територій моніторинг ГС повинний враховувати особливості гідромеліоративного будівництва. До них відносяться: великі освоювані площі територій при порівняно малій глибині (потужності) техногенного меліоративного профілю; тісна залежність грунтово-меліоративних умов території від інженерно-геологічних і гідрогеологічних умов; часта відсутність можливості вибирати «кращі» геологічні умови на меліоруємих територіях.

При меліоративному освоєнні земель відбуваються три основні групи змін ГС:

1. Зміни, зв'язані з регулюванням і перерозподілом річкового стоку для гідромеліорації (у результаті осушення природних водойм, затоплення і підтоплення територій, переробки берегів при створенні водоймищ, акумуляції іригаційних опадів, зміни гідростатичного напору в товщах порід, розвитку явищ напору підземних вод і т.д.).

2. Зміни, зв'язані з веденням власне зрошуваного землеробства (водно-сольового балансу порід зони аерації, режиму і запасів ПВ під зрошуваними полями, підтопленням і заболочуванням територій, вторинним засоленням ґрунтів і т.д.).

3. Зміни, що супроводжують гідромеліорації і зв'язані з нею побічно.

Негативні наслідки відбиваються на компонентах ГС при неправильній організації меліоративної системи чи її неправильної експлуатації, порушенням технологій. При іригації за рахунок втрати води зростає додаткова інфільтрація ҐВ. З іригаційною водою в ґрунтовий потік часто надходить значна маса солей; їхня концентрація може істотно зростати і при розчиненні солей, що містяться в породах зони аерації. При підйомі ҐВ у районах з низькою природною дренованістю до глибин 3-4 м і менш різко зростає їхня витрата на випар і транспірацію рослинами, що при недостатності природного і штучного дренажу приводить до засолення ґрунтів і до підвищення мінералізації вод зони аерації і ґрунтових вод. Виділення засолених і незасолених ґрунтів можна проводити по БНіП 2.02.01-83.

У зонах з дефіцитним зволоженням основна проблема іригації – боротьба з вторинним засоленням, що у ґрунтах і породах зони аерації в умовах поганого дренажу розвивається через підйом ПВ по капілярній мережі до глибин 2-3 м від поверхні. Інтенсивний випар капілярної води і її витрата на процеси транспірації викликає випадання солей з порових розчинів на поверхні мінеральних часток і ґрунтової органіки (гумусу). Солі, що кристалізуються, закупорюють поровий простір ґрунтів, знижують їхню фільтраційну здатність і капілярну водопроникність, цементуючи контакти між частками; вони істотно видозмінюють макро- і мікросклад ґрунтів, що в підсумку позначається на них, на комплексі їх фізичних, фізико-механічних і фізико-хімічних властивостей. Вторинна засоленість різко погіршує природну дренованість ґрунтів і масивів, а це у свою чергу викликає розвиток процесів підтоплення і заболочування. Не зважаючи на те, що процеси вторинного засолення добре вивчені, поки немає надійних методів прогнозу і керування цим техногенним процесом у геологічному середовищі.

### 3.3 Особливості забруднення ґрунтів при розміщенні промислових відходів

При розміщенні промислових відходів у НПС відбувається забруднення ґрунтів, поверхневих та ПВ і приземної частини атмосфери, рівень ЗР різний, тому вони поділяються на 4 *класи небезпеки*: I – *надзвичайно небезпечні*, П – *високо небезпечні*, Ш – *помірно небезпечні*, IV – *мало небезпечні* . Наприклад, до I класу відносяться розчини та шлами (ціаніди, оксиди *Cu, Cr, Cd, Ni* та інші важкі метали), які піддалися нейтралізації, ущільненню, деметалізації та іншим способом знешкодження до схову в спеціальних полігонах промислових відходів. Промислові відходи IV класу (відходи фасонно-лінійних цехів та ін.) не потребують попередньої обробки до розміщення у відвалах та полігонах.

В основу визначення класу токсичності промислових відходів покладені: імовірний принцип при оцінці можливого впливу промислових відходів на навколишнє середовище і людину; застосування гігієнічних регламентів та параметрів токсикометрії; оцінка класу токсичності промислових відходів різноманітного складу за хімічними сполуками, який визначає рівень токсичності відходів; оптимальна комбінація порівняно допустимих гігієнічних, токсикологічних та фізико-хімічних параметрів, які дозволяють оцінити можливий вплив токсичних речовин на навколишнє середовище ; принцип взаємозаміни деяких параметрів. Найбільш розроблені методи визначення класу токсичності на основі граничнодопустимої концентрації (*ГДК*) хімічних речовин в ґрунті та за величиною середньої летальної дози ($ДЛ_{50}$) [34].

Індекс токсичності (*ІТ*) вираховується за формулою:

$$IT_i = ГДК_i / ( S + C / M)_i \,, \qquad (3.1)$$

де $ГДК_i$ – гранично допустима концентрація токсичної хімічної речовини , яка міститься у відходах, в ґрунті, мг / кг ґрунту; $C$ – вміст даного компоненту в загальній масі промислових відходів, т; $M$ – загальна маса промислових відходів, т; $S$ - коефіцієнт, який відображає розчинність токсиканту у воді (за допомогою «Довідника хіміка» знаходять розчинність даної хімічної речовини або сполучення в воді у г /100 г води при 20° С і визначену величину поділяють на 100, отримуючи безрозмірний коефіцієнт $S$ у межах від 0 до 1); $i$ – черговий номер даного токсичного компонента.

Величину *ІТ* округляють до 1–го знаку після коми. Розрахувавши величину *ІТ* для окремих компоненти промислових відходів, вибирають 1-3 ведучих компонентів ($n$), які мають мінімальні значення $IT_1 < IT_2 < IT_3$. Окрім того, повинна виконуватись умова: $2IT_1 > IT_3$ .

Потім визначається сумарний індекс токсичності (*СІТ*):

$$CIT = 1 / n^2 \sum_{i=1}^{1} IT_i \,, \qquad (3.2)$$

де $n < 3$.

Після цього визначається клас токсичності за допомогою допоміжної таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Класифікація ступеня небезпеки хімічних речовин на основі їх ГДК

| *СІТ* | Клас токсичності | Ступінь небезпеки |
|---|---|---|
| Менш 2 | І | Надзвичайно небезпечні |
| 2 – 16 | П | Високо небезпечні |
| 16,1 – 30 | Ш | Помірно небезпечні |
| Більш 30 | IV | Мало небезпечні |

При відсутності даних про ГДК хімічних речовин у ґрунтах розрахунок *ІТ* проводиться з використанням величини $ДЛ_{50}$ для даного компоненту, тобто за *дозою середньої летальної ефективної* [33], тобто дозою, яка спричиняє загибель у 50% стандартної групи тварин при певному терміні слідуючого спостереження; *доза летальна* – це мінімальна кількість шкідливого агенту, попадання якого спричиняє до загибелі. Значення *ІТ* визначається за формулою:

$$IT = lg\,(ДЛ_{50})_i \;/\; (S + 0{,}1F + C/M)_i\,, \qquad (3.3)$$

де $F$ – коефіцієнт летючості компоненту, який визначається за довідковою літературою; визначається тиск насичення пари окремих компонентів у суміші (у мм ртутного стовпа і які мають температуру кипіння при 760 мм рт. ст., але не вищу за 80 ° С) для температури 20°С; це значення поділяється на 760 мм рт. ст. і отримується безрозмірна величина F (від 0 до 1).

Решту складових формули визначають як і у формулі (3.1).

Розрахувавши *ІТ* для окремих компонентів по $ДЛ_{50}$, потім за формулою (3.2) визначаємо *СІТ*, а після цього по таблиці 3.2 - клас небезпеки речовини у відходах.

Таблиця 3.2 - Класифікація ступеня небезпеки речовин у відходах по $ДЛ_{50}$

| *СІТ* | Клас токсичності | Ступінь небезпеки |
|---|---|---|
| Менш 1,3 | І | Надзвичайно небезпечні |
| 1,3 – 3,3 | П | Високо небезпечні |
| 3,4 – 10 | Ш | Помірно небезпечні |
| Більш 10 | IV | Мало небезпечні |

## 3.4 Особливості техногенного забруднення ґрунтів днопоглиблення

У наш час об'єм навмисного поховання різних матеріалів і речовин, зокрема, ґрунту, вийнятого при днопоглиблювальних роботах, бурового шламу, відходів промисловості, будівельного сміття, твердих відходів, вибухових і хімічних речовин, радіоактивних відходів складає біля 10% від всієї маси ЗР, що надходять до Світового океану.

Часто під терміном "*дампінг*" мають на увазі більш вузьке поняття: навмисне скидання в поверхневі води ґрунтів днопоглиблення, що з'являються внаслідок проведення будь-якого виду підводних земляних робіт (будівництво гідротехнічних споруд, відновлення проектних глибин акваторій і т.д.).

Основою для дампінгу в морі служить здатність морського середовища до переробки великої кількості органічних і неорганічних речовин без особливої шкоди для якості води. Однак ця здатність не безмежна. Виходячи з цього, особливе значення набуває наукове обґрунтування шляхів регулювання скидів відходів (ґрунтів днопоглиблення) у море.

При здійсненні днопоглиблювальних робіт і дампінгу ґрунтів основними параметрами водного середовища, що змінюються, є: режим

каламутності; гідрохімічний режим; умови мешкання водних організмів; рельєф дна ділянки проведення робіт.

Вимоги щодо охорони навколишнього середовища при днозаглибленні базуються на положеннях "Закону про охорону навколишнього природного середовища України" (1991 р.) і зобов'язаннях України, які витікають із "Конвенції по захисту Чорного моря від забруднення" (1992 р.). Нормативні ж документи України, що б регламентували проведення днопоглиблювальних робіт і дампінг відсутні.

При розробці і скиданні ґрунтів не допускається погіршення якості водного середовища в районі виконання робіт, яке може спричинити шкідливий вплив на біологічні ресурси, як в зоні проведення робіт, так і за її межами. Терміни проведення днопоглиблення необхідно призначати на період, який не співпадає з життєво важливими біологічними ритмами живих організмів (нерест і міграція риб, періоди інтенсивного розмноження бентосу та інші).

Основним засобом запобігання погіршенню якості водного середовища при днозаглибленні є попереднє дослідження складу і властивостей ґрунтів, що розробляються.

Результати досліджень повинні використовуватися при обґрунтуванні екологічної безпеки проведення днопоглиблення.

Аналітичні дослідження ґрунтів необхідно провести на стадії техніко-економічного обґрунтування при капітальному днозаглибленні і при підготовці матеріалів для отримання дозволу на ремонтне днопоглиблення.

При цьому повинні бути визначені фізичні властивості, хімічний склад, санітарно-гігієнічні показники.

Вивчення донних відкладів (відбір проб) повинно розповсюджуватися на всю товщу (потужність) ґрунтів, що розробляються.

Оцінку міри забрудненості ґрунтів рекомендується проводити за [34], або шляхом порівняння хімічних і санітарно-гігієнічних показників з фоновими значеннями, що характеризують регіон робіт.

Класифікація ґрунтів днопоглиблення за мірою їх забрудненості була введена у вітчизняній практиці уперше, і її концептуальна відмінність від існуючих зарубіжних аналогів полягає в домінуванні екологічних принципів оцінки впливу дампінгу на водне середовище над економічними міркуваннями. Це виражається в значному посиленні критеріїв, що визначають міру припустимості дампінгу того або іншого класу ґрунтів днозаглиблення.

Внаслідок багатогранного характеру взаємодії скинутого у воду ґрунту з конкретної екосистеми, класифікація, що пропонується, є узагальненням лише найважливіших чинників, які визначають процес

зміни природного стану морського середовища від техногенного втручання.

Дія класифікації розповсюджується на об'єкти капітальних і ремонтних робіт днопоглиблення, розташованих у шельфовій зоні Чорного і Азовського морів. Причому обмеження, що накладаються на умови видалення і розміщення ґрунтів днопоглиблення в залежності від їх класу, обов'язкові для виконання.

У табл. 3.1 представлена класифікація ґрунтів днопоглиблення Азово-Чорноморського басейну за мірою їх забрудненості. Тут прийняті наступні позначення класів:

*клас А* - природно-чистий ґрунт (еталон);

*клас І* - умовно чистий ґрунт, який не є небезпечним для морського середовища;

*клас ІІ* - помірно забруднений і забруднений ґрунт; дампінг можливий після компенсації збитку морському середовищу і рибному господарству; бажана утилізація, раціональне використання ґрунтів днопоглиблення (берегові відвали, будівельні матеріали);

*клас ІІІ* - сильно забруднений ґрунт; скидання в морське середовище можливе лише за отриманням спеціальної технології; подавання на берег небажане; бажана утилізація.

*клас ІV* - токсичний ґрунт; можливе тільки поховання за спеціальною технологією, подавання на берег можливе лише після попереднього знешкодження і збагачення ґрунтів.

Загальним критерієм, що визначає клас ґрунту по мірі забрудненості, є інтегральний показник, який є сумою відношень середніх концентрацій кожного інгредієнта ЗР в пробах ґрунту до відповідної концентрації інгредієнта в еталонному класі (*клас А*).

Якщо один із інгредієнтів забруднюючих речовин має концентрацію, що перевищує півсуму граничних значень для класу, визначеного за інтегральним показником, і рядком вартого більш високого класу, то ґрунт потрібно віднести до більш високого класу.

Регламентація вмісту радіонуклідів в донних відкладах, методи дослідження і критерії гігієнічної оцінки приймаються відповідно до вимог міжнародних і національних норм радіаційної безпеки (НРБ).

Необхідність індикації збудників інфекційних захворювань визначається результатами санітарного обстеження районів днопоглиблення по узгодженню з територіальними органами санітарно-епідеміологічного нагляду МОЗ України.

Кількість проб донного відкладення визначається, виходячи з об'єму ґрунтів, що підлягають розробці: 1) якщо об'єм ґрунту менше за 100 тис. $м^3$ - кількість проб 6 шт.; 2) якщо об'єм ґрунту від 100 до 300 тис. $м^3$ - кількість проб 9 шт.; 3) якщо об'єм ґрунту від 300 до 600 тис. $м^3$ - кількість

проб 12 шт.; 4) якщо об'єм ґрунту більше за 600 тис. $м^3$ - кількість проб 15 шт.

Оцінка токсичності на культурі клітини проводиться у разі наявності ризику інтенсивного забруднення морського середовища в районах днопоглиблення небезпечними хімічними речовинами, що не входять у класифікацію, надану в табл. 3.1, і при необхідності експертної оцінки ґрунтів днопоглиблення на вимогу органів охорони здоров'я України.

Таблиця 3.1- Класифікація ґрунтів днопоглиблення Азово-Чорноморського басейну по ступенем їх забрудненості [35]

| Інгредієнти (мг/кг) і параметри | Класи | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **А** | **І** | **ІІ** | **ІІІ** | **ІV** |
| Кадмій (Cd) | ≤1,0 | >1.0 | >2.0 | >3.0 | >5.0 |
| Ртуть (Hg) | ≤0,1 | >0.1 | >0.2 | >0.3 | >0.5 |
| Свинець (Pb) | ≤10 | >10 | >20 | >100 | >200 |
| Цинк (Zn) | ≤60 | >60 | >80 | >150 | >400 |
| Мідь (Cu) | ≤30 | >30 | >50 | >100 | >250 |
| Миш'як(As) | ≤5,0 | >5.0 | >6.0 | >8.0 | >10 |
| Загальний фосфор | ≤670 | >670 | >800 | >1000 | >1200 |
| Загальний фтор | ≤200 | >200 | >400 | >500 | >600 |
| Ціаніди | не знайдені | | | | |
| Нафтопродукти | ≤100 | >100 | >200 | >300 | >1000 |
| Феноли | ≤1,0 | >1.0 | >1.5 | >2.0 | >3.0 |
| Coli – index | відсутня | $4*10^2$ - $8*10^4$ | $10^4$-$1.2*10^5$ | $2*10^5$-$3*10^6$ | $>10^6$ |
| Мікробне число (загальна кількість бактерій) | відсутня | $10^2$-$9,5*10^4$ | $1.8*10^4$-$4*10^5$ | $10^5$-$9*10^6$ | $>2.9*10^6$ |
| Санітарно – токсичний показ-ник (дегенерація культури клітин) | відсутня | ++ помірна | +++ виражена | тотальна | |
| Інтегральний коеф. забрудненості по відношенню до ета-лону | еталон | ≤15,0 | ≤30 | ≤60 | >60 |

Відібрані проби аналізуються по повній, або по скороченій програмі в залежності від очікуваного класу забрудненості ґрунтів днопоглиблення. Очікуваний клас - це клас ґрунту об'єкта, розрахований по середніх багаторічних концентраціях забруднюючих речовин в ґрунтах об'єктів днопоглиблення Азово-Чорноморського басейну.

У разі очікуваної класності ґрунтів А, І і ІІ відібрані проби досліджуються за скороченою програмою. У разі очікуваної класності ґрунтів ІІІ і IV проби досліджуються по повній програмі.

Скорочена програма передбачає проведення наступних спостережень і аналізів:

- фізичних властивостей (гранулометричний склад з визначенням часток фракції, що викликає каламутність, %; природна вологість, %; щільність ґрунту, т/м$^3$; щільність сухого ґрунту, т/м$^3$);
- хімічного складу у мг/кг сухого ґрунту (кадмій; ртуть; свинець; цинк; мідь; миш'як; фосфор; фтор; ціаніди; нафтопродукти; феноли);
- повної програми, яка передбачає доповнення скороченої програми щодо визначення санітарно-гігієнічних показників (Coli-index; мікробного числа);
- оцінки токсичності методом біологічного тестування;
- оцінки повторного забруднення методом лабораторного моделювання.

Значення фізичних властивостей ґрунтів приймаються за даними інженерно-геологічних досліджень.

Якщо днопоглиблення на дільниці виконується уперше або відсутні дані попередніх досліджень, проби ґрунту досліджуються по повній програмі.

### 3.5 Принципи оцінки екологічного ризику техногенних змін геологічного середовища

*Екологічний ризик* – кількісна оцінка впливу існуючої чи нанесеної техногенезом небезпеки ГС здоров'ю, життю людей чи об'єктам життєдіяльності людини. Величина екологічного ризику ($R_{ГС}$) може бути виражена залежністю [5]:

$$R_{ГС} = r_{гх} + r_{гг} + r_{іг} + r_{ісг}\ , \qquad (3.4)$$

де $r_{гх}$ – геохімічний (радіогеохімічний), $r_{гг}$ – гідрогеохімічний, $r_{іг}$ – інженерно-гідрогеологічний та $r_{ісг}$ – інженерно-сейсмологічний (сейсмогеофізичний) елементи ГС.

Оцінка радіогеохімічного ризику базується на оцінці внутрішньої (переважено пов'язаної із харчовим ланцюгом) і зовнішньої (від радіо-геохімічного забруднення ландшафту об'єктів життєдіяльності) фаз. За аналогічною схемою може бути визначений ризик геохімічного і гідрохімічного факторів, пов'язаних з забрудненням продуктів харчування і питних вод важкими металами, пестицидами та іншими ЗР. В загальному плані ризик визначається як добуток об'єму надходження в організм людини радіонуклідів $O_р$ або інших забруднювачів $O_к$ (в кратності

перевищення ГДК) на дозовий коефіцієнт $Д$ (для радіонуклідів) і коефіцієнт ризику по кожному із забруднювачів ($К_{ір}$ - радіонуклідів, $К_{із}$ – інших забруднювачів):

$$r_{гх} = \Sigma O_р \cdot Д \cdot К_{ір} + \Sigma O_к \cdot К_{із} \qquad (3.5)$$

Інженерно-геологічний ризик в загальному плані зв'язаний переважно з ураженістю екзогенних геологічних процесів ( $f$ ), яка в ряді випадків може бути виражена як відношення площі проявів небезпечних екзогенних геологічних процесів до загальної площі регіону з часом розвитку $t$ (років):

$$r_{огп} = f / F \cdot t \qquad (3.6)$$

Для оцінки $r_{іг}$ необхідно врахувати щільність забудови $К_з$ в оцінюваному регіоні, тобто дати кількісну оцінку переходу $r_{огп}$ в $r_{іг}$:

$$r_{іг} = К_з \cdot r_{огп} \qquad (3.7)$$

Інженерно-сейсмологічний ризик визначається частотою проявів в оцінюваному регіоні сильних землетрусів ($T$, років):

$$r_{ісг} = I / T \qquad (3.8)$$

Аналіз структури елементів екологічного ризику свідчить про постійність дії в основному двох факторів – геохімічного і гідрогеохімічного, при переважанні першого з них. Даний висновок має принципове значення, тому що гідрогеохімічний вплив ГС в значній мірі знижується під сорбційним впливом ґрунтів, а потім уже здатністю підземної гідросфери до розводження. На сучасному етапі формування ГС України приблизно 80-90% радіаційної дози формується в системі харчового ланцюга; з ним пов'язано також надходження важких металів, отрутохімікатів та інших ЗР [5].

## Контрольні питання для самоперевірки

1. Які основні форми техногенного порушення і забруднення геологічного середовища ?
2. Яки основні причини та негативні наслідки техногенного забруднення ґрунтів ?
3. Як визначається клас небезпечності промислових відходів ?
4. Які принципи класифікації ґрунтів днопоглиблення ?
5. Що таке екологічний ризик ?

# 4 ОСНОВНІ ПРИЧИНИ ТА НЕГАТИВНІ НАСЛІДКИ ТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД

Підземні води (ПВ) - всі води, які знаходяться під поверхнею землі в зоні аерації та насичення в прямому контакті з родючими ґрунтами і підґрунтями. ПВ є найважливішим ресурсом літосфери, необхідним для функціонування і розвитку людського суспільства. Найбільший інтерес представляють прісні, мінеральні, термальні і промислові ПВ. *Прісні* ПВ мають мінералізацію менш 1 г/дм$^3$ і використовуються для господарсько-питного водопостачання, для технічних потреб, іригаційних цілей і т.д. До *мінеральної лікувальної* ПВ відносяться води з підвищеним вмістом фізіологічно активних мінеральних, органічних і газових компонентів. Вони можуть містити як «специфічні» компоненти (*I, Br, B, Fe, $H_2S$, $CO_2$, $H_2Si_3$* і т.д.), так можуть бути і без них; в останньому випадку їх фізіологічно активні речовини зазвичай обумовлені підвищеною мінералізацією і співвідношеннями між основними іонами. До *термальних* ПВ відносяться води з підвищеною температурою; нерідко вони збагачені і фізіологічно активними компонентами (термомінеральні води). Для одержання геотермальної енергії використовуються: низкопотенційні (20-100$^o$С) – для теплотехнічних потреб; середньопотенційні (100-150$^o$С) – для теплопостачання; високопотенційні (більш 100$^o$С) – для вироблення електроенергії. До *промислових* ПВ відносяться високомінералізовані води звично глибокозалягаючих водоносних горизонтів (ВГ), з яких здобувають *Na, Cl, NaCl, I, Br, B, Li* і ін. У світі добувається 90% брому, 85% - йоду, 30% - повареної солі, сульфіду натрію, літію, 25% - магнію і т. д. (від загального видобутку) [36].

*Забруднення ПВ* - скид людиною (прямий чи непрямий) речовин чи енергії в ПВ, який в результаті спричиняє ризик для здоров'я людей, шкоду живим ресурсам та водним ЕС, або заважає використовувати воду в інших законних цілях. Прямий скид - внесення в підземні води ЗР без фільтрації крізь родючий ґрунт чи підґрунтя; непрямий скид - внесення в підземні води ЗР після фільтрації крізь родючий ґрунт чи підґрунтя. Забруднення ПВ - це викликана антропогенною (техногенною) діяльністю зміна якості води порівняно з нормами якості води по видах водокористування (господарсько-питне, іригаційне, технічне, бальнеологічне, промислове, теплоенергетичне), яка робить воду частково чи повністю непридатною до використання за призначенням. Причинами забруднення ПВ можуть бути: складування різних відходів на земній поверхні, рідких відходів в різних накопичувачах, експлуатація водоносного горизонту (ВГ) тощо. Чималий техногенний вплив на ПВ має місце при пошуках, розвідці, експлуатації, транспортуванні і переробці багатьох корисних копалин. Так, при розробці родовищ корисних копалин із надр вибираються ПВ, що призводить до порушення природного стану ландшафтних компонентів. При цьому

здійснюється прямий чи непрямий вплив на ПВ, що призводить до зміни їх якісних і кількісних параметрів у процесі забруднення.

Забруднюючі речовини проникають у ВГ й викликають такі види забруднень: хімічне, бактеріальне (мікробне),теплове та радіоактивне.

***Хімічне забруднення***. Хімічне забруднення відбувається в результаті проникнення майже всіх ЗР, за винятком теплообмінних вод та радіоактивних речовин, але основну роль відіграють промислові відходи. Хімічне забруднення звичайно проявляється у збільшенні, порівняно з фоном, мінералізації, макро- і мікрокомпонентів, у появі невластивих їм мінеральних та органічних сполук, в збільшенні їх вмісту у часі. Найчастіше у забруднених водах зустрічаються $Cl^-$, $SO_4^{2-}$, $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$, $Fe^{2+}$, $Fe^{3+}$, $F^-$, $NO^-$, нафтові вуглеводні, феноли, органічні сполуки, важкі метали. Серед антропогенного хімічного забруднення ПВ найбільш поширеними є нафтове, хлоридне, нітратне; забруднення важкими металами. Хімічне забруднення інколи супроводжується зміною органолептичних властивостей і температури води [37].

*Нафтове забруднення*. Нафта і НП є гідрофобними речовинами. Частина НП розміщується у виді лінзи на поверхні ґрунтових вод (товщиною від декількох см до 1-2 м і більше). Так, на місцях колишніх військових аеродромів спостерігається не тільки нафтове забруднення, але й видобуток НП. Друга частина НП нижче фазовідособленої частини (лінзи) і за її межами утворює з водою двофазну суміш у виді емульсії. Нарешті, найбільш розчинні нафтові вуглеводні (в основному арени) утворюють з водою розчин. Розміри площ, які зайняті емульсованими й водорозчинними нафтовими вуглеводнями у багато разів ($n \cdot 10$) більші за площі, що зайняті у виді лінз. Джерелами нафтового забруднення є: нафтодобувні і нафтопереробні підприємства (аварійні розливи нафти, бурової рідини, стічних вод), об'єкти зберігання та перерозподілу НП (нафтобази, заправочні станції). Причинами забруднення природного середовища найчастіше бувають аварійні витікання і розливи внаслідок несправності резервуарів зберігання, трубопроводів та ін.

*Хлоридне забруднення* спричиняється промисловими відходами високомінералізованих вод, видобутих на поверхню, шахтними та рудниковими водами, морськими водами у прибережних районах тощо. Хлориди добре розчинні, стійкі; це речовини, що не розкладаються й не сорбуються, вони мають високу міграційну здатність і займають значні площі.

*Забруднення важкими металами.* Важкі метали займають одне з провідних місць серед ЗР; найбільш поширеними є *Pb, Cu, Zn, Cd* та їх сполуки. Забруднення важкими металами пов'язані із деякими промисловими відходами, викидами автотранспорту, отрутохімікатами тощо. Їх накопичення у ПВ має місце при забрудненні атмосфери, ґрунту, поверхневих вод. Важкі метали у катіонній формі добре сорбуються, тому

їх гідрогеохімічні аномалії мають обмежені розміри. Важкі метали відносять до стійких ЗР, які погано розкладаються у природних умовах (неконсервативні).

*Нітратне забруднення*. Нітратний азот є кінцевим продуктом у ланцюзі послідовного окислення азоту: $NH_3$ $(NH_4^+) \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO_3^-)$. Процес нітрифікації, у результаті якого $NO_2^-$ переходить у $NO_3^-$ триває до 1-1,5 місяця ($NO_2^-$ - "свіже" забруднення). Нітратне забруднення пов'язують з сільськогосподарською діяльністю, меншою мірою з промисловими й комунально-побутовими відходами. Нітрати добре розчиняються у воді, відрізняються невеликою сорбційною властивістю, можуть мігрувати далі.

***Бактеріальне забруднення.*** Під бактеріальним забрудненням (мікробним) розуміється збільшення вмісту у ПВ порівняно з природним фоном санітарно-показових мікроорганізмів. Особливе значення для мікробіологічної характеристики води має загальна кількість бактерій і кількість кишкових паличок. Особливістю бактеріального забруднення є обмеженість розповсюдження бактеріального забруднення в межах водоносного горизонту, що обумовлено незначним часом виживання бактерій в ПВ. Цей час складає 30-400 діб (в залежності від їх кількості у воді, швидкості фільтрації, геохімічних умов, наявності інших ЗР, температури та ін.). Наявність детергентів (синтетичних поверхнево-активних речовин - СПАР, миючих засобів) до 5 мг/л, нафтопродуктів навіть сприяє розмноженню бактерій. Бактеріальне забруднення зазвичай носить тимчасовий і локальний характер.

***Теплове забруднення.*** Виявляється у підвищенні температури ПВ порівняно з фоном. Зміни температури викликає і зміну хімічного складу та органолептичних властивостей ПВ, що відзначається у районах функціонування АЕС та ТЕС, під час скиду на поверхню нагрітих стічних вод. У населених пунктах формується "острів тепла", як у атмосфері, так і у ПВ; найчастіше він відзначається у ГВ. Так, при підвищенні температури від 15°С до 25°С токсичність *Zn* збільшується у 3 рази.

*Антропогенні (техногенні) джерела забруднення* ПВ виникають в результаті господарської діяльності людей, у тому числі прямого чи непрямого впливу на склад та інтенсивність природного забруднення й поділяються на: 1) неочищені або недостатньо очищені виробничі й комунально-побутові стічні води; 2) поверхневі стічні води (наприклад, річки Донбасу); 3) дренажні води; 4) аварійні скиди й переливи стічних вод; 5) фільтраційні витоки речовин із ємностей, трубопроводів та ін.; 6) тимчасові викиди у атмосферу (пил, аерозолі), які осаджуються на поверхні землі та водних об'єктах; 7) нерегламентовані викиди й скиди (нафтопродуктів, пестицидів, добрив тощо); 8) промислові майданчики підприємств, місця зберігання й транспортування продукції й відходів виробництва; 9) звалище комунальних та побутових відходів (в основному

твердих побутових відходів). Антропогенним джерелом забруднення ПВ є населений пункт у цілому (гідрогеохімічна аномалія, "тепловий острів").

Антропогенні джерела забруднення ПВ можуть бути поділені *за походженням*: індустріальні, промислові, сільськогосподарські, комунальні, транспортні, урбанізовані.

Усі джерела за їх *конфігурацією у просторі* поділяються на: 1) місцеві - площа ($F$) < 100 км $^2$, довжина ($L$) < 20 км; 2) обмежено-регіональні - $F$ = 100-1000 км$^2$, $L$ = 20-200 км; 3) регіональні - $F$ > 1000 км $^2$, $L$ > 200 км.

Джерела забруднення поділяються *за ступенем обумовленого ними забруднення ПВ*: 1) помірного забруднення від фонових – *фон - 1 ГДК*; 2) джерела значного забруднення -*1-10 ГДК*; 3) джерела екстремального забруднення - *більше 100 ГДК* [37].

Існує взаємозв'язок забруднення ПВ із забрудненням атмосферних опадів, вод поверхневого стоку і ґрунтів. В багатьох випадках родючі ґрунти і породи зони аерації (1-3 м) є головним вмістилищем всіх ЗР, що надходять в атмосферу (викиди теплоенергетики, автотранспорту, промисловості і ін.) з поверхні землі. Проникнення ЗР здійснюється як природними шляхами (крізь літолого-фаціальні і тектонічні “вікна”), так і шляхами міграції, створеними завдяки техногенній діяльності (кар'єри, криниці, накопичувачі, полігони тощо). Внаслідок цього ЗР можуть проникати до глибин порядку 1 км і більше (залежно від гідрогеологічних і техногенних факторів). Особливо уразливими для техногенного впливу є ГВ, які можуть забруднюватися навіть при низьких фільтраційно-ємнісних властивостях порід зони аерації і досить великих глибинах залягання їх поверхні.

Високий ступінь господарського освоєння територій відзначається при найбільшій густоті населення, що створює об'єктивні передумови для забруднення всіх складових навколишнього природного середовища, включаючи ПВ. Підприємства гірничодобувної, металургійної, хімічної, нафтової промисловості, розвинена мережа автомобільних доріг, хімізація сільськогосподарського виробництва, значна кількість смітників, промислових і побутових відходів, зростаючі масштаби урбанізації і багато інших причин сприяють забрудненню ПВ.

За умовами забруднення і характером впливу на ПВ для регіонів, що знаходяться у сфері інтенсивного техногенного впливу, можна виділити декілька характерних ситуацій, що в принципі характерні для багатьох регіонів, які зазнають значного техногенного навантаження. В.Г. Магмедовим [38] наведено класифікацію основних джерел забруднення за генезисом і характером впливу на підземні води в Україні. Основними джерелами *зосередженого (локального)* забруднення ГВ звичайно є численні полігони і неорганізовані смітники промислових, сільськогосподарських та побутових відходів, різноманітні накопичувачі

рідких відходів, місця скиду вод нафтових родовищ на рельєф місцевості, витікання нафтопродуктів із різноманітних ємностей та ін. Джерелами *лінійного* забруднення ГВ є малі річки, які піддаються інтенсивному техногенному забрудненню, що впливає на концентрацію ЗР, особливо в періоди маловоддя. Лінійне забруднення може мати місце і при витоках з каналізаційної мережі. Інфільтрація забруднених стічних і річкових вод призводить до погіршення якості ГВ, появи як природних (сульфат-іон, хлор-іон, підвищення суми мінеральних речовин), так і типових антропогенних компонентів (СПАР, пестициди тощо). Основним джерелом *площового* (дифузного) забруднення ГВ є сільгоспвиробництво. Наднормативне застосування азотних мінеральних добрив призводить до нітратного забруднення ГВ на полях зрошення; в багатьох регіонах вміст нітрат-іона у 2-3 рази перевищує ГДК. В цих же районах простежуються підвищені концентрації важких металів, які надходять разом з добривами фосфору, а також калію. Визначено наявність пестицидів, в тому числі і заборонених до використання ДДТ (ДДТ і його метаболіти, хлорофос та інші пестициди відзначаються в концентраціях до 0,002 мг/л ). Крім того, нітрати, отрутохімікати, важкі метали, нафтопродукти, феноли та інші ЗР змиваються з різних об'єктів поверхневим стоком і, інфільтруючись в ГВ, погіршують їх якість. Джерелом площового забруднення є й розпилення пестицидів сільгоспавіацією, яке проводиться в обмежених розмірах, але що неприпустимо для густо заселених районів. *Регіональним* джерелом забруднення ГВ можуть бути забруднені атмосферні опади, що є одним з негативних факторів зміни якості вод.

Найбільшою мірою на антропогенне забруднення наражаються ПВ зони активного водообміну, які можуть бути розташовані близько до поверхні землі. В гідрогеохімічному відношенні ПВ зони активного водообміну, особливо ГВ, звичайно прісні (мінералізація менше 1 г/л ), здебільшого гідрокарбонатно-кальцієвого складу, і є об'єктом господарсько-питного водопостачання в багатьох країнах. На їх склад можуть впливати навіть слабомінералізовані атмосферні опади (дощові опади мають мінералізацію 12-120 мг/л, туман -165 мг/л), які містять ЗР.

Показником активності водообміну є коефіцієнт водообміну ($K_o$), що визначається по формулі:

$$K_o = q_p \quad Q_{вг} \quad , \qquad (4.1)$$

де $q_p$ - річний розхід підземного стоку для даного водоносного горизонту, м $^3$/рік; $Q_{вг}$ - кількість гравітаційної води у водоносному горизонті, м$^3$/рік.

Для інфільтраційних ПВ значення $K_o > 1$, або $K_o = 1$, а для вод зони ускладненого водообміну $K_o < 1$.

Зміна якості ГВ може виражатись у збільшенні їх мінералізації, жорсткості, вмісту типових макро- ($Cl^-$, $SO_4^{2-}$, $Ca^{2+}$, $Mq^{2+}$) і мікрокомпонентів ($J^-$, $Br^-$, $F^-$), в появі специфічних речовин антропогенного походження (СПАР, НП, феноли, пестициди та ін.), в зміні фізичних і органолептичних властивостей тощо.

Якість прісних ПВ, що використовуються для водопостачання, визначається, як і для поверхневих вод суші, державними стандартами (ДЗСТ 2874-82; СанПіН "Вода питна", введеного з 1.01.2000 р.), що включають бактеріологічні, органолептичні та хімічні показники.

Показники хімічного складу ПВ включають ГДК речовин, що зустрічаються як в природних умовах, так і внаслідок промислового, транспортного, сільськогосподарського, комунального чи іншого забруднення, а також внаслідок очистки води. ДЗСТ 2874-82 та інші стандарти лімітують вміст суми мінеральних компонентів, загальну жорсткість, $NO_3^-$, $Cl^-$, $H^+$ *(pH), Be, Mo, As, Pb, Se, Sr* тощо. Так, якщо ВОЗ рекомендовані наступні значення показників якості питної води: $Cl^-$ = 600 мг/л, $SO_4^{2-}$ = 400 мг/л, $Mn^{2+}$ = 0,5 мг/л, $Zn^{2+}$ = 15 мг/л, $Fe^{2+}$, $Fe^{3+}$ = 1 мг/л, то ДЗСТ 2874-82 передбачає більш жорсткі обмеження ($Cl^-$ = 100-350 мг/л, $SO_4^{2-}$ = 250 мг/л, $Mn^{2+}$ = 0,1 мг/л, $Zn^{2+}$ = 5 мг/л, $Fe^{2+}$, $Fe^{3+}$ = 0,3 мг/л ).

Зміни якості прісних вод зони активного водообміну під впливом техногенних дій можуть виразитися у збільшенні їх мінералізації, вмісту токсичних макро- ($Cl^-$, $SO_4^{2-}$, $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$), мезо- ($Fe^{2+}$, $Fe^{3+}$) та мікрокомпонентів (*J, Br, B, F* і ін.), у появі в підземних водах невластивих їм речовин антропогенного генезису (СПАР, пестициди та ін.), у зміненні температури, *pH, Eh*, у появі специфічного запаху, кольору і т.д.

Радіоактивні елементи враховуються згідно до норм радіаційної безпеки (НРБ -76/37 і інші нормативні документи).

При вмісті в воді деяких ЗР (за винятком $F^-$, $NO_3^-$) сума їх концентрацій не повинна перевищувати 1, тобто:

$$C_1/C'_1 + C_2/C'_2 \ldots + C_n/C' \leq 1, \qquad (4.2)$$

де $C_1$, $C_2$ ... $C_n$- виявлені концентрації речовин, мг/л; $C'_1$, $C'_2$ ... $C'_n$ - ГДК цих же речовин, мг/л.

Якщо визначити показники якості води в природних умовах через $C_e$ (фонові значення), а ГДК цих же речовин через $C'$, то величина $C$ може виражати мінералізацію, загальну жорсткість, концентрацію окремих макро-, мезо- та мікрокомпонентів. В більшості випадків $C_e < C'$, але може бути, що це стосується мінералізації або жорсткості, відповідно до стандарту якості, а по окремих компонентах $C > ГДК$.

В.М. Гольдберг [37] виділяє 2 основні стадії забруднення ПВ:

*I - дограничне, початкове забруднення* чи ознаки забруднення, тобто вміст ЗР більше $C_e$, але менше $C'$. Для цієї стадії забруднення характерне зростання концентрації ЗР у часі, хоча воно залишається нижче значення ГДК:

$$C_e < C \leq C' \tag{4.3}$$

або

$$R_e < R \leq 1, \tag{4.4}$$

де $R_e = C_e / C'$ ; $R = C / C$.

В стадії *I* виділяють 2 міри початкового забруднення ПВ (*Іа, Іб*):

$$Ia: \; R_e < R \leq 0,5 \tag{4.5}$$

$$Iб: \; 0,5 < R \leq 1 \tag{4.6}$$

*II* - надграничне забруднення - вміст ЗР вище за ГДК. В стадії *II* виділяються 3 міри забруднення:

$$IIa: \; 1 < R \leq 10, \tag{4.7}$$

$$IIб: \; 10 < R \leq 100 \tag{4.8}$$

$$IIв: \; R > 100 \tag{4.9}$$

Міра *IIв* - екстремальне забруднення в загальному випадку, а для токсичних речовин екстремальним треба вважати $C > 100 \; ГДК$.

Найбільш небезпечна стадія *II*, але не менш важливий своєчасний вияв стадії *I*. Ці стадії можуть мати місце за межами зони активного впливу техногенних джерел, а також на ділянках водозабірних споруд. Міра IIа визначається поблизу порівняно невеликих за інтенсивністю джерел забруднення; на водозабірних ділянках зустрічається рідко. Якщо забруднення перевищує в 1,5-2 рази ГДК, то водозабір звичайно використовується для технічних цілей. Міри *IIб* і *IIв* характерні для ділянок, які зазнають тривалого інтенсивного впливу джерел забруднення.

Забруднення ПВ може бути викликане більшою кількістю ЗР ($n \cdot 10$ і більше). Звичайно обирають 2-3 типові ЗР і найбільш перевищуючі значення ГДК ($C/C' > 1$), але при цьому враховуються і загальні, тобто ті показники, що виявляються часто і повсюдно (мінералізація, загальна жорсткість, хлор-іон, сульфат-іон, нітрат-іон, органічні речовини та ін.).

Техногенне (антропогенне) забруднення ПВ неоднакове за інтенсивністю та масштабами.

Значне забруднення ПВ спостерігається поблизу приймачів промислових комплексів і сільськогосподарських відходів. Зони забруднення, що формуються тут, носять локальний характер, але відрізняються високою інтенсивністю забруднення (стадія *П, С > 10-100 ГДК*, де *С* - концентрація забруднюючої речовини).

Дуже важливим є вплив забруднення атмосфери на якість ПВ, який носить регіональний характер (стадія *І, С < 1 ГДК*).

Локальне забруднення характеризується невеликою площею й високим вмістом ЗР. Під впливом населених пунктів, сільськогосподарських площ концентрації ЗР дорівнюють *1-10 ГДК*, а під впливом ділянок складування відходів, окремих промислових, комунальних та сільськогосподарських об'єктів - до *10-100 ГДК*.

Якщо до забруднення ПВ відносити лише випадки з *С > 1 ГДК*, то картина забруднення ПВ буде мати переважно локальний характер. Якщо відносити випадки, коли *С > фону*, але менше за *ГДК*, то картина буде носити регіональний характер.

Влив процесів техногенезу відбивається не лише у змінюванні хімічного складу, але й підвищенні температури ("острів тепла" у містах), у зміні бактеріологічного складу тощо. Основне навантаження ЗР, що надходять з поверхні землі, припадає на ГВ, які є акумулятором ЗР, захисним шаром і одночасно джерелом забруднення для більш глибоких водоносних горизонтів. Якщо швидкість горизонтального водообміну ПВ у багато разів менша за швидкість вертикальної міграції ЗР з поверхні землі, то відбувається їх накопичення у верхніх водоносних горизонтах, особливо у ГВ.

Власне кажучи, у районах інтенсивного сільськогосподарського освоєння і особливо у промислових районах, відбувається формування антропогенного та гідрохімічного режимів ПВ. Має місце селективне проникнення ЗР у ПВ, переважно мінеральних компонентів. Іншим важливим техногенним фактором, який впливає на зміну якості ПВ є водовідбір, з яким пов'язане підтягування до водозабірної споруди некондиційних підземних та поверхневих вод. Про інтенсивність інфільтрації ЗР можна судити за даними, приведеними у табл. 4.1.

Для характеристики взаємозв'язку забруднення ПВ із загальним забрудненням НПС використовується *показник схильності підземних вод до забруднення – ПСЗ* [37]:

$$ПСЗ = M_m / ПЗ, \qquad (4.10)$$

де $M_m$ – модуль техногенного навантаження території забруднюючими речовинами, обумовлений як річний обсяг викидів ЗР,

т/км$^2$ у рік; *ПЗ* – показник захищеності ПВ, що виражається в балах (див. розділ, присвячений якісній оцінці захищеності ПВ).

Таблиця 4.1 – Інфільтрація забруднених вод
на промислових майданчиках [40]

| Галузь промисловості | Орієнтовна середньорічна інтенсивність інфільтрації в грунтові води, м/добу |
|---|---|
| Енергетична, целюлозна | $(5\text{-}10) \cdot 10^{-4}$ |
| Металургійна, нафтохімічна, хімічна | $(3\text{-}5) \cdot 10^{-4}$ |
| Гірничо-збагачувальна, машинобудівна, будівельна | $(1\text{-}3) \cdot 10^{-4}$ |
| Текстильна, легка, харчова, будматеріалів | $(< 1) \cdot 10^{-4}$ |

Значення $M_m$ можуть мінятися від менш 0,1 до 1000 і більше тис. т / (км$^2$**.** рік), а значення *ПЗ* від менш 5 балів до 25 балів і більш. З урахуванням цього можна виділити наступні градації *ПСЗ*: 1) *ППЗ* < 0,01 (дуже низький ступінь схильності); 2) *ППЗ* = 0,01-0,1 (низький ступінь схильності); 3) *ППЗ* = 0,1-1 (помірний ступінь схильності); 4) *ППЗ* = 1-10 (середній ступінь схильності); 5) ППЗ = 10-100 (високий ступінь схильності); 6) *ППЗ* > 100 (дуже високий ступінь схильності).

Взаємозв'язок забруднення ПВ із забрудненням інших природних середовищ обумовлює необхідність комплексного вивчення і моніторингу забруднення цих середовищ та планування комплексних досліджень.

## 4.1 Забруднення підземних вод під впливом накопичувачів рідких відходів

Серед техногенних джерел забруднення особливу небезпеку становлять поверхневі земляні ємності, призначені для зберігання рідких і твердих відходів. Пристосовані вони до природних і штучних заглиблень рельєфу й обваловані (обнесені) дамбами. Приймачі таких відходів входять до системи промислової каналізації підприємств хімічної, металургійної, гірничодобувної, нафтохімічної, целюлозно-паперової, фармацевтичної та ін. промисловостей. А.І. Арцев [39] називає їх "промисловими басейнами".

Наприклад, хвостосховища служать накопичувачами рідких і твердих відходів (хвостів) гірничо-збагачувальних, а у шламосховищах - відходи (рідкі й тверді) металургійних, машинобудівних та інших підприємств.

Усі приймачі призначені для зберігання, освітлення, випаровування, накопичення й доочистки стічних вод перед їх скидом у ріки або використанням у обіговому водопостачанні, а також для складування (або утилізації).

Як приймачі рідких відходів часто розглядаються поля фільтрації і поля зрошування стічними водами.

1) Ставки - накопичувачі, випарники, буферні ставки служать для скиду в них і накопичування з послідовним частковим скидом у водотоки (накопичувачі), або з метою випаровування (випарники). Якщо із ставка йде постійний скид у річку або водоймище транзитним шляхом, то ставок називають буферним. Площі їх від *n.1* км$^2$ до *n.10* км$^2$, глибина їх -3-20 м. Строк заповнювання до 15-20 років. На днищах - штучні слабо проникні екрани.

2) "Білі моря" - для складування рідких і твердих відходів (пульпи) содових і содово-цементних заводів (на поверхні утворюється біла кірка від розсолів хлоридів з мінералізацією 150 - 200 г/л). Пульпа надходить постійно, а скид - в період повені, у річку. Розташовують на терасах і заплавах (площа – *n.10* км$^2$). Накопичення пульпи – 10 - 12 місяців, а скид - протягом 1-2 місяців. Днища екранується глинистими породами потужністю до 40 см та обваловуються.

3) Хвостосховища. Можуть бути рівнинні, заплавні, яружно-балкові та ін. В них надходить пульпа у співвідношенні твердої та рідкої фаз від 1:15 до 1:30. Тверда частина осідає, а освітлена рідка йде у обігове водопостачання. При розтіканні пульпи утворюються хвости (відкладення твердих частинок): великі, середні, дрібні. Можуть займати декілька км$^2$. Склад стічних вод залежить від виду збагаченої продукції й способу збагачення. Наприклад, на рудозбагачувальних фабриках кольорових металів збагачення проводиться методом флотації (поділ частинок за змочуванням їх водою) і стічні води містять багато флотореагентів (*HCl, $H_2SO_4$*, цинковий та мідний купороси, феноли і т.д.), які можуть потрапити у ПВ.

4) Шламосховища (шламонагромаджувачі) - великі земляні споруження, які займають значні площі, глибиною до 50 м і терміном експлуатації більше 10-15 років. Служать для приймання твердих відходів металургійного виробництва - шламів, які подаються гідравлічним способом. Разом зі шламом надходить багато стічних вод, які освітлюються, охолоджуються й перемішуються. *Шлам* - завись дрібних (до 10 - 40 мм) корисних копалин у воді, порошку та осаду, що випадає під час електролізу *Cu, Zn* та інших металів. Можуть бути рівнинні, заплавні, яружно-балкові і т.д. У шламосховища надходять стоки різнорідного складу. Так, у стічних водах металургійного і суміжних з ним виробництв містяться різні речовини, які можуть інтенсивно забруднити ПВ.

5) Поля зрошення служать для очищення стічних вод фільтрацією і одночасно утилізацією шляхом зрошення та вирощування сільськогосподарських культур. На комунальних полях зрошення йде

очищення, на землеробських очищення значення не має; використовуються стічні води.

6) Поля фільтрації застосовують лише на піскових ґрунтах. Використовують для очищення стічних вод навантаження 80 - 300 $м^3$/га на добу (забруднюють ПВ).

7) Полігони твердих побутових відходів утворюють фільтрат, який забруднює ПВ.

8) Золовідвали (шламовідвали). Займають великі площі земляних ємностей, де складуються відходи від теплоелектростанцій. Характерним елементом золошлаків є Са. У значних кількостях в них - $SiO_2$, $Al_2O_3$, $Fe_2O_3$ та ін., що забруднюють ПВ.

Процес забруднення ПВ відбувається у 3 стадії :

1. Прохідна фільтрація зі сховища рідких відходів (приймача відходів). Стічні води інфільтруються крізь зону аерації, в результаті чого на поверхні ГВ починає виростати "бугор" забруднених вод. Вільна фільтрація триває доти, поки потік із сховища відходів не зімкнеться з горизонтом ГВ. Тривалість прохідної фільтрації звичайно не більше 1-2 років. Разом із зростанням "бугра" забруднених вод відбувається їх розтікання по горизонту ГВ.

2. Змішування метаморфізованих (змінених) вод з ГВ.

3. Рух забруднених вод та розповсюдження ЗР по водоносному горизонту. У цей час і відбувається формування ділянки забруднення водоносного горизонту.

Формування зони забруднення ПВ - це складні гідродинамічні й фізико-хімічні процеси, які залежать від багатьох факторів.

Істотне значення має відмінність щільності стічних вод, що фільтруються з поверхні землі ($\gamma_с$) від ґрунтових вод ($\gamma_в$). Відмінність щільностей утворює неначе б то додатковий градієнт фільтрації :

$$i_в = (\gamma_с - \gamma_в) / \gamma_с = \Delta\gamma, \qquad (4.11)$$

від якого залежить розподіл зони забруднення за потужністю пласта. Так, при $\Delta\gamma \leq 0$ ділянка забруднення буде займати верхню частину пласта, а при $\Delta\gamma > 0$ забруднюючий розчин буде занурюватися углиб пласта.

Час опускання забруднюючого розчину на глибину $h$ у випадку $\Delta\gamma > 0$ дорівнює:

$$t = n \cdot h / (k_ф \cdot \Delta\gamma), \qquad (4.12)$$

де $n$ - пористість водоносних порід; $k_ф$ - коефіцієнт фільтрації водоносних порід.

Горизонтальний природний потік ГВ обмежує глибину проникнення у пласт стічних вод, що фільтруються з поверхні, тому стічні води

розповсюджуються переважно у верхній та середній частині пласта (якщо $\gamma_c$ не набагато $> \gamma_в$). У випадку порівняно невеликого за розміром джерела забруднення, розташованого у покрівлі пласта великої потужності, зона розтікання забруднених ПВ характеризується наступними розмірами:

а) безпосередньо під джерелом забруднення:

$$z_0 = \sqrt{Q/(\pi \cdot \upsilon_e)} \qquad (4.13)$$

б) униз за напрямком потоку на значному віддаленні від джерела забруднення:

$$z_\infty = \sqrt{2Q/(\pi \cdot \upsilon_e)} \qquad (4.14)$$

де $Q$ - расход стічних вод, що фільтруються із джерела; $v_e = k_ф\ i_e$ - швидкість фільтрації природного потоку ГВ; $i_e$ – гідравлічний уклон природного потоку ГВ; $k_ф$ - коефіцієнт фільтрації водоносних порід.

Чим більша $v_ф$ й менша $Q$, тим менша потужність зони розтікання.

При неоднорідних фільтраційно-ємностних властивостях пласта розповсюдження ЗР буде носити нерівномірний складний характер. Переміщення забруднених вод буде краще відбуватися по водопроникненим протиркам, але з-за перетікання й дифузії ЗР буде розповсюджуватись по усій потужності пласта.

Аналіз умов забруднення ПВ на ділянках поверхневих сховищ стічних вод показав: 1) вміст ЗР у ПВ може складати *n ·10 - n · 100* ГДК; 2) осередок забруднення зберігається тривалий час, навіть після ліквідації сховища стічних вод; 3) висока мінералізація та щільність стічних вод призводять до забруднення ПВ на значній глибині, включаючи не лише ГВ, але й напірні води; 4) фільтраційна неоднорідність та тріщинуватість порід обумовлюють нерівномірне переміщення ЗР у ПВ і їх тривале зберігання у пластах; 5) швидкість розповсюдження ЗР у ПВ = *n ·10 - n ·100 м/р*ік; у сильно тріщинуватих і закарстованих породах - *до n ·1000 м/рік*.

Витрата стічних вод, що фільтруються, залежить від фільтраційних властивостей зони аерації, наявності ізолюючого екрану у основі сховища.

Витрати стічних вод на фільтрацію з приймачів відходів змінюються у широких межах. На фільтрацію із "промислових басейнів" (шламонакопичувачі, ставки - відстійники та ін.) - до n 10% від скиду у них. Наприклад, на одному із значних шламосховищ на шостий рік його експлуатації виток крізь дно становить 20% загальної витрати фільтрації. Через штучний екран з глин та суглинків ($k_ф$ < 0,005 м/добу, $Q$ = 20 тис. м$^3$ /добу).

ПВ поблизу полів фільтрації містять: $NH_4^+$ *до 30 ГДК*, $Cl^-$ до *6 ГДК*, $SO_4^{2-}$ до *30 ГДК* і т.д.

Звичайно змикання рівня ГВ з потоком забруднених вод із приймачів відходів відбувається менше як за 1-2 роки що менше терміну експлуатації, який обчислюється 15-20 роками й більше. Тому слід враховувати підпір ГВ. Оскільки сховища стічних вод функціонують довгочасно, то режим їх може бути стаціонарним.

Для захисту поверхневих та підземних вод від забруднення токсичними сполуками у залежності від фізико-хімічних властивостей промислових відходів, гідрогеологічних особливостей будують різні типи інженерних споруд. Під час будівництва накопичувачів застосовується комплекс протифільтраційних пристроїв, які, проте, не завжди забезпечують належну ізоляцію ПВ.

У зв'язку з цим виникає необхідність регламентації вмісту ЗР, особливо токсичних сполук, у рідких промислових відходах накопичувачів, тому що від вмісту ЗР у водах які скидаються залежить їх вміст в ПВ.

Принцип розрахунку граничного вмісту токсичних сполук у рідких відходах накопичувачів заснований на ряді припущень :

1. Можливості порушень цілісності протифільтраційного екрану й проникнення токсичних забруднюючих речовин у ПВ з інфільтраційними водами. Фільтраційні витрати із накопичувачів стоків за різними оцінками, складають *12-24%* від об'єму стічних вод, які скидаються до накопичувача. Як розрахункова, приймається *20%* витрата на рік від об'єму рідких відходів, що скидаються.

2. Допущенні забруднення ПВ першого від поверхні водоносного горизонту (безпосередньо під накопичувачем) завдяки чому не погіршується якість води у найближчих від накопичувача пунктах водокористування (на межі санітарно-захисних зон). Максимальний вміст токсичних ЗР у ПВ може бути прийнятий *10 ГДК* (ГДК токсичної ЗР для питних вод, ГОСТ 2874-82). Нижнім значенням можливого вмісту токсичних ЗР у ПВ може бути їх ГДК, тобто межі від *1 до 10 ГДК*. Це відноситься до зони водоносного горизонту поблизу джерел забруднення та до меж впливу водозабірної споруди. Вміст ЗР вищий за *10 ГДК* відповідає екстремальному забрудненню, тобто *10 ГДК* вибране, щоб не допустити переходу забруднення ПВ у екстремальний ступінь.

3. Тривалості надходження токсичної ЗР у ГВ під накопичувачем, яка дорівнює сумі часу його експлуатації й періоду продовження фільтрації стічних вод після припинення експлуатації накопичувача. Емпірично встановлено ще повну фільтрацію стічних вод після припинення скиду відходів до накопичувача, яка складає 3-7 років (у середньому 5 років).

4. Можливості отримання інформації про фільтраційні якості порід у зоні розташування накопичувача, напрямку та швидкості руху вод, потужності водоносного горизонту.

Максимально завдана концентрація токсичних ЗР у ПВ під накопичувачем, виходячи із якої знаходиться гранична концентрація токсичних ЗР у відходах в накопичувачі, визначається з урахуванням змішування стічних вод, що фільтруються, з підземними водами під накопичувачем і розповсюдження суміші забруднених природним потоком ПВ.

Приймається така спрощена схема. Накопичувач схематизується у вигляді квадрату, одна з сторін якого орієнтована за напрямком потоку ПВ. Довжина шляху, який проходять ПВ по водоносному горизонту за 1 рік, значно менша за довжину боку накопичувача, що має місце у більшості випадків, тому що швидкість фільтрації ПВ звичайно мала, тоді як розміри накопичувачів можуть бути значними. Так, ПВ можуть фільтруватися зі швидкістю 30-150 м/рік, тоді як бік накопичувача може бути довжиною від $n \cdot 100$ м до 3000 м.

Стічні води, що фільтруються із накопичувача, забруднюють насамперед верхню частину водоносного горизонту, потім забруднення розповсюджується вглибину. У малопотужних забруднюється увесь горизонт, а у горизонтах значної потужності - верхня і середня частини. Тому приймається, що змішування стічних вод, які фільтруються із накопичувача у ПВ відбувається по всій потужності пласта, якщо він не перевищує 20 м, на 80% - при потужності 20-40 м і на 70% - при потужності більш 40 м.

При розрахунку концентрацій ЗР у ГВ не враховуються відмінності у щільності та в'язкості стічних вод і ПВ, фізико-хімічні процеси взаємодії між водами й породами, тобто це є схема для консервативних ЗР.

Відстань у м ($x_o$), яку проходять забруднені води упродовж кожного року (365 діб) вниз по потоку ГВ, можна визначати за формулою:

$$x_o = k_ф \, i_e \, 365 / n, \qquad (4.15)$$

де $i_e$ – гідравлічний уклон природного потоку ГВ; $k_ф$ - коефіцієнт фільтрації водоносних порід; $n$ - пористість.

Якщо відома відстань від боку полігону до ріки (або будь - якої іншої дрени) - $L$, у який розвантажуються ГВ, то можна оцінити, через скільки років забруднення досягне річки:

$$t = L / x_o, \qquad (4.16)$$

Відстань розповсюдження ЗР вверх по потоку дорівнює 100 м, а у бічні сторони - 200 м, тобто межа розповсюдження ЗР обмежується збоку й зверху по потоку і не обмежується вниз по потоку ГВ.

Граничний вміст токсичної речовини в промислових рідких відходах у накопичувачі визначається формулою:

$$C_r = \frac{\{C_{\max}(K_m \cdot m \cdot L^2 \cdot n + 0.2W) - K_m \cdot L \cdot m \cdot [X_0 \cdot C_0 + (L \cdot n - X_0)(C_{\max} - C_0)(1 - \frac{1}{T})]\}}{0.2W}, \quad (4.17)$$

де $C_г$ – граничний вміст токсичної речовини в промислових рідких відходах у накопичувачі, мг/л (мг/дм$^3$); $C_{max}$ – максимально завдана концентрація токсичної речовини у ПВ під накопичувачем (10 ГДК), мг/л (мг/дм$^3$); $C_o$ – склад токсичної ЗР у ґрунтових водах в природних умовах (фоновий), мг/л (мг/дм$^3$); $m$ - потужність водоносного горизонту, м; $K_m$ - безрозмірний коефіцієнт, який відображає процес змішування стічних та підземних вод в залежності від потужності водоносного горизонту ( $K_m$=1 при $m$ < 20 м, $K_m$ = 0,8 при $m$ = 20 - 40 м, $K_m$ = 0,7 при $m$ > 40 м); $L$ - довжина боку накопичувача, м; $n$ - пористість водоносних порід, безрозмірна величина; $W$ - річний об'єм стічних вод, які скидаються до накопичувача, м$^3$; $0,2W$ - річний об'єм стічних вод, що фільтруються з накопичувача, м$^3$; $X_O = 365 \cdot K_ф \cdot i$, де $к_ф$ - коефіцієнт фільтрації водоносних порід, м/добу; $i$ – гідравлічний уклон, безрозмірна величина; $T = t_e + 5$ - розрахунковий час (кількість років), на кінець якого концентрація токсичної речовини у ПВ не повинна перевищувати значення $C_{max}$; $t_e$ - час експлуатації накопичувача (звичайно 15-20 років, 5 - середня кількість років інфільтрації стічних вод після припинення скиду рідких промислових відходів у накопичувач).

Якщо токсична забруднююча речовина стороння для природного гідрогеохімічного фону ($C_o$= 0, або вміст її у природних умовах дуже малий), то формула (4.17) має вигляд:

$$C_r = \frac{\{C_{\max}[(K_m \cdot m \cdot L^2 \cdot n + 0.2W) - K_m \cdot L \cdot m(L \cdot n - X_0) \cdot (1 - 1/T)]\}}{0.2W} \quad (4.18)$$

Необхідна інформація запозичується з проекту будівництва накопичувача ($W$, $L$, $t_e$), зі звітів гідрогеологічних досліджень ($m$, $n$, $K_ф$, $i$, $C_o$). Значення $C_{max}$ за величиною ГДК завдається в межах *1 - 10 ГДК*, звичайно *10 ГДК*.

Основними цілями оцінки граничного вмісту токсичних ЗР є: дозвіл прийняття превентивних заходів щодо охорони ПВ, враховуючи умови розташування промислових об'єктів; вдосконалення способів вилучення ЗР, відхилення екологічно небезпечних проектів.

Для визначення абсолютно допустимої маси токсичної ЗР у накопичувачі проводиться розрахунок за формулою:

$$G = C_г \cdot W /1000, \qquad (4.19)$$

де G - маса токсичної речовини у накопичувачі, кг; $C_г$ – граничний вміст токсичної речовини в промислових рідких відходах у накопичувачі, мг/л; $W$ - об'єм накопичувача, м$^3$.

## 4.2 Оцінка впливу забруднених атмосферних опадів на склад ґрунтових вод

Забруднення ґрунтових вод в умовах техногенного впливу на оточуюче природне середовище тісно пов'язане з забрудненням атмосфери, поверхневих вод та ґрунтів. У результаті забруднення атмосфери на земну поверхню випадають забруднені опади та пил.

Наближена кількісна оцінка впливу на якість ГВ, забруднених атмосферними опадами, може бути виконана при таких припущеннях: 1) ЗР не взаємодіють з ґрунтами і не змінюються у процесі випадення та інфільтрації. Фактично, склад атмосферних опадів змінюється в межах атмосфери після проходження крізь рослини і ґрунти, але для наближеної оцінки і з врахуванням нейтральності ЗР типу хлоридів, нітратів, фенолів та ін. по відношенню до ґрунтів таке припущення можливе; 2) випадання атмосферних опадів з ЗР відбувається в один або два періоди протягом року. Аналіз матеріалів по різним регіонам дозволяє стверджувати, що це не має істотного значення для накопичення ЗР в ГВ; 3) вся кількість атмосферних опадів з ЗР, що випали, досягає дзеркала (рівня) ГВ. Це припущення практично прийнятне для зон з надлишковим зволоженням і неглибоким заляганням ГВ.

Якщо привнесення цієї або іншої ЗР у ГВ обумовлене атмосферними опадами, що інфільтруються, то концентрація цієї ЗР буде прагнути до концентрації цієї речовини у атмосферних опадах. Особливо швидко збільшується вміст у ГВ тих компонентів, які спершу в ГВ були відсутні. В зв'язку з цим під впливом атмосферного забруднення можуть накопичуватись у ґрунтових водах пестициди, хром, феноли, СПАР та інші, невластиві для них інгредієнти. Можливо, що з атмосферними опадами пов'язана поява у ГВ техногенних ЗР при відсутності явних джерел забруднення поверхні землі. Процес зміни якості ГВ може бути дуже тривалим (до 20-50 років і більше).

Враховуючи можливість забруднення атмосферних опадів на значній площі, обумовлене ними забруднення ГВ може носити регіональний характер (догранічне забруднення, або початковий ступінь надграничного

забруднення), хоча інтенсивність зміни якості ГВ буде значно менша, ніж при наявності наземних техногенних джерел забруднення ГВ [37].

Проведення подібних досліджень доцільне на дослідно-виробничих полігонах, пристосованих до крупних промислових об'єктів, спільними зусиллями фахівців природоохоронних органів.

При розрахунку вважається, що забруднені атмосферні опади випадають щороку після початку викиду ЗР у атмосферу: при цьому річна норма опадів і концентрація в них ЗР залишаються постійними. При розрахунку враховуються гідрогеологічні особливості горизонтів ГВ, в які інфільтруються забруднені атмосферні опади, а також швидкість руху ГВ в межах водонасичених порід.

За умови, що забруднені атмосферні опади випадають один період часу на протязі року, відзначається така залежність [37]:

$$C_1 = (m \cdot C_a + n \cdot C_в) / (m + n), \quad (4.20)$$

$$C_i = [m \cdot C_a + (n - t \cdot v/L)\, C_{i-1} + (t \cdot v/L) \cdot C_в] / (m + n) \quad (4.21)$$

За умови, що забруднені атмосферні опади випадають два періоди часу протягом року, після 1-го періоду випадення опадів у 1-му році залежність має той же вигляд, що і у формулі (4.20) :

$$C'_1 = (m' \cdot C_a + n \cdot C_в) / (m' + n) \quad (4.22)$$

Після 2-го періоду випадення забруднених опадів у 1-му році кількість ЗР у ГВ ($C_1''$) визначається за формулою:

$$C_1'' = [m'' \cdot C_a + (n - t' \cdot v/L) \cdot C'_1 + (t' \cdot v/L) \cdot C_в] / (m'' + n), \quad (4.23)$$

Після 1-го періоду випадення забруднених опадів у 2-му році кількість ЗР у ГВ ($C'_2$) визначається за формулою:

$$C'_2 = [m' \cdot C_a + (n - t'' v/L)\, C_1'' + (t'' \cdot v/L) \cdot C_в] / (m' + n), \quad (4.24)$$

Вміст ЗР у ГВ після 2-го періоду випадення опадів у 2-му році ($C_2''$) визначається за формулою (4.23), але замість значення $C'_1$ підставляється значення $C'_2$. Аналогічно послідовно визначаються концентрації у наступні роки ($C'_3$, $C_3''$, $C'_4$, $C_4''$ і т.д. до шуканого року).

У вищенаведених формулах: $C_1$- концентрація ЗР в ГВ у перший рік після випадення забруднених атмосферних опадів (якщо опади випадають один період часу протягом року), мг/л; $C_i$ - концентрація ЗР в ГВ у і - рік випадення забруднених атмосферних опадів (за умови, що опади випадають один період у рік), мг/л; $C_{i-1}$ - концентрація ЗР в ГВ у

попередній рік (*i-1*), мг/л; $C'_1, C'_2, C'_3$ ... – концентрації ЗР в ГВ після 1-го періоду випадення забруднених опадів (якщо опади випадають два періоди часу протягом року), мг/л; $C_1'', C_2'', C_3''$... – концентрації ЗР в ГВ після 2- го періоду випадення забруднених опадів (якщо опади випадають два періоди часу протягом року), мг/л; $C_a$- концентрація ЗР в атмосферних (дощових) опадах, мг/л; $C_в$ - концентрація ЗР у ґрунтових водах, мг/л; *n* - пористість водоносних ґрунтів (порід), у частках одиниці; *v* - швидкість фільтрації ГВ, м/добу; *L* - довжина ділянки за напрямком природного руху ГВ, в межах якого відбувається випадення забруднених атмосферних опадів, м; $m = r/M$ - відносна потужність шару атмосферних опадів, які інфільтруються до рівня ГВ; *r* - шари атмосферних опадів, що просочилися до рівня ГВ ($r = 0{,}001\ h\ K_{ін}$), де *h* - річна норма атмосферних опадів у мм, а $K_{ін}$ - коефіцієнт інфільтрації атмосферних опадів (< 1); *M* - середня "товщина " горизонту ГВ, м; *m'* - відносна потужність шару забруднених атмосферних опадів, що просочилися, у перший період їх випадення; *m''* - відносна потужність шару забруднених атмосферних опадів, що просочилися, у другий період їх випадення; *t* - період від кінця попереднього випадення опадів до початку наступного їх випадення (опади з ЗР випадають один раз на рік), діб; *t'* - час від кінця першого періоду випадення опадів в році до початку другого періоду випадення опадів цього ж року (опади випадають два періоди часу), діб; *t''* - час від кінця другого періоду випадення опадів в році до початку першого періоду випадення опадів наступного року (опади випадають два періоди часу), діб.

### 4.3 Гідрогеологічне обґрунтування границь техногенно-геологічних систем

Розвідка та експлуатація ПВ обумовлює формування техногенно-геологічних систем (ТГС) геологічного середовища. Задля гідрогеологічного обґрунтування границь ТГС доцільно використовувати існуючі фільтраційні та міграційні розрахунки шляхом вводу в них екологічних обмежень. В зв’язку із тим, що екологічні зміни відбуваються при стійкому порушенні динамічної рівноваги ГС, до екологічно значущих границь зміни гідрологічних (фільтраційних) умов можна віднести зону розвитку депресій зі зниженнями, що перевищують природні середні багаторічні коливання рівня ПВ (перш за все ґрунтових вод). В загальному випадку обсяг кільцевого елементу обсягу депресії в плоско- радіальному потоці *dV* радіусом *r* і шириною *dr* можна розрахувати за формулою [5]:

$$dV = 2\pi \cdot r \cdot S \cdot dr, \qquad (4.29)$$

де *S* – зниження рівня ПВ на відстані *r* від свердловини (“великого колодязя”) з радіусом водоприйомної частини $r_0$, м. З врахуванням

безперервності потоку ПВ в умовах установленого, несталого потоків та перетоку крізь слабопроникаючий шар зниження рівня $S$ на відстані $r$ відповідно буде дорівнювати:

$$S = S_0 (\ln R /r) / (\ln R/r_0), \quad (4.30)$$

$$S = (Q /4\pi \cdot k_m) \cdot [- E_i (-r^2 /4\, a \cdot t)], \quad (4.31)$$

$$S = (Q /2\pi \cdot k_m) \cdot \{[K_0 (r \cdot B)] /[(r_0/B) \cdot K_1)(r_0/B)]\}, \quad (4.32)$$

де $Q$ – дебіт відкачки, м$^3$/добу; $t$ – час відкачки, діб; $E_i$ - визначення інтегральної показникової функції, $k_m$, $a$- відповідно коефіцієнти водопровідності та п'єзопровідності, м$^2$/добу; $\mu_{пруж}$ – пружна водовіддача горизонту (у частках одиниці); $B$ – фактор перетікання (параметр свердловини), метрах, якій визначається за формулою: $B = (k_m \cdot m_0 /k_0)^{1/2}$, де $k_0$ , $m_0$ – відповідно коефіцієнт фільтрації (м/добу) та товщина (м) слабопроникаючого шару.

Після відповідних перетворень залежностей (4.29-4.32) з врахуванням, що $r_0 \leq R$ отримаємо для умов:

а) сталого потоку

$$V \approx \pi \cdot R^2 \cdot (S_0 \cdot 2\ln R/r_0) = \pi \cdot R^2 \cdot S_c,$$

(4.33)

де $S_c = S_0 / (2\ln R/r_0) = 0{,}217(S_0 / (2\lg R/r_0)$ – середнє зниження рівня в межах депресії, м;

б) несталого потоку

$$V = Q \cdot t / \cdot \mu_{пруж} \quad (4.34)$$

в) перетоку *крізь слабопроникаючий шар*

$$V = Q \cdot m_0 / k_0 \quad (4.35)$$

## Контрольні питання для самоперевірки

1. Що таке забруднення підземної води ?
2. Що таке хімічне, бактеріальне і теплове забруднення підземних вод ?
3. Які основні стадії забруднення підземних вод ?
4. Як відбувається процес забруднення ґрунтових вод під впливом накопичувачів рідких відходів ?
5. Як забрудненні атмосферні опади впливають на якість підземних (ґрунтових) вод ?

# 5 ОЦІНКА ЗАХИЩЕНОСТІ ПІДЗЕМНИХ ВОД ВІД ТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ

Поняття "*захищеність підземних вод*" означає їхню ізольованість як за рахунок природних, так і штучних факторів від впливу потоків шкідливих речовин з техногенних джерел. Використання для визначення категорії захищеності підземних вод тільки неповного комплексу природних факторів значною мірою звужує можливості одержання достовірних оцінок, оскільки за рамками розгляду залишаються особливості хімічної природи забруднюючих речовин, режим надходження їх в ГС і навантаження, ступінь техногенної зміни захисних шарів і ін. При такому підході складання карт природної захищеності ПВ можна було б розглядати як перший крок до формування оцінки захищеності, етапу попередньої оцінки. Однак, навіть попередня оцінка вимагає більш повного урахування природних факторів, що визначають захищеність. До їхнього числа відносяться тектонічні порушення, зони підвищеної проникненості порід як відображення неотектонічних процесів й ін.

Під захищеністю ПВ від антропогенного впливу розуміється перекритість ВГ водотривкими породами, що перешкоджають проникненню ЗР із джерел техногенного забруднення (на поверхні землі, у накопичувачах відходів, у надрах землі).

Захищеність ПВ залежить від трьох груп факторів: 1) *природні* – наявність у розрізі водотривких порід, глибина залягання ПВ, потужність і фільтраційні властивості водотривких порід (товщ, що перекривають ВГ), сорбційних властивостей порід і т.д.; 2) *техногенні* – умови перебування ЗР у джерелі забруднення (на поверхні землі, у накопичувачах, на полях зрошення, у техногенних ВГ і ін.), характер проникнення ЗР у ПВ (інфільтрація, рівчак і т.д.); 3) *фізико-хімічні* - специфічні властивості ЗР, їх міграційна здатність, хімічна стійкість, консервативний чи неконсервативний характер і т.д.

По природній захищеності ПВ підрозділяються на: захищені від забруднення; незахищені від будь-яких джерел забруднення; незахищені від глибинних джерел забруднення (рівчака).

Крім того, ПВ поділяються за ступенем захищеності від виснаження: 1) незахищені при нераціональній експлуатації і під впливом зовнішніх факторів (наприклад, тріщинно-жильні ПВ); 2) незахищені при нераціональній експлуатації (наприклад, порово-пластові і тріщинно-пластові ПВ); 3) слабко піддані чи не піддані виснаженню (наприклад, фумарольні води районів сучасного вулканізму).

Інтенсивність надходження ЗР у ВГ залежить від ступеня його захищеності. Більш захищені ПВ, що глибоко залягають і ізольовані водотривкими породами.

## 5.1 Оцінка забрудненості ґрунтових вод та ґрунтових масивів за допомогою розрахункових моделей масопереносу

Інтенсифікація господарчої діяльності людини все більше загострює проблему оцінки сучасного стану та прогнозу змін геологічного середовища під впливом різних техногенних факторів і, в тому числі, хімічного забруднення. Промислові стоки і розчини із комунікацій хімічних підприємств та інших об`єктів, а також широке використання різних засобів технічної меліорації можуть значною мірою розглядатися як фактори ризику забруднення оточуючого середовища.

В практиці еколого-геологічних досліджень широко використовуються методи оцінки і прогнозування геохімічного забруднення, що базуються на підставі часткових рішень рівнянь математичної фізики, що описують процеси тепло-масопереносу [41]. При цьому, основні параметри процесів тепло-масопереносу визначають на підставі проведення спеціальних лабораторних вимірювань, або розрахунковим способом за допомогою кореляційно-регресійного аналізу залежності цих параметрів від інших, для вимірювання яких немає потреби проводити тривалі і коштовні лабораторні дослідження.

В теперішній час у світовій практиці використовується декілька методичних підходів до оцінки захищеності ПВ від забруднення. Наприклад, в США прийнято методику, розробленну National Graund Water Association (A Standartired Sistem for Evaluating Graund Water Pollution Potential). Ця методика призначена для бальної оцінки перш за все великих територій, які сильно відрізняються за своїми геологічними умовами і, як показує аналіз, вона непридатна для територій з однотипною будовою. В странах СНД прийняте використання методики бальної оцінки. Оцінка захищеності ПВ територій виконується окремо для глибоких (напірних) і для ґрунтових вод. Обидві зазначені методики не враховують такого важливого фактору, як захисна роль ґрунтового шару, що є майже єдиною перешкодою для забруднювачів.

Тому оцінку захищеності ГВ від забруднення доцільно виконувати за терміном, необхідним для міграції консервативного компоненту від земної поверхні до рівня ГВ. Цей час (в роках) для шаруватої товщі, що складається із і - шарів, можна підрахувати за формулою [42]:

$$t = (40/W)\cdot\sum m_i\cdot (k_i)^{-1/n} \ , \qquad (5.1)$$

де $m_i$ - потужність і-го шару, м; $k_i$ - його коефіцієнт фільтрації, м/добу; $W$ - інтенсивність інфільтраційного насичення, мм/рік; $n$ - безрозмірний показник ступеню, що залежить від прийнятої моделі вологопереносу (для суглинків та глин цей параметр дорівнює 4,0, а для пісків – 3,6).

Експериментально встановлено п`ять рівнів захищеності ґрунтових вод за часом інфільтраційного проникнення забруднювача при завданому інфільтраційному насиченні: 1) дуже слабко захищені (менш 1 року); 2) слабко захищені ( 1- 3 роки); 3) відносно захищені ( 3 - 5 років ); 4) майже захищені ( 5 - 10 років ); 5) захищені (більш 10 років ).

## 5.2 Оцінка ступеня захищеності ґрунтових вод від техногенного забруднення

Ґрунтові води, що залягають першими від поверхні, пов’язані з водно-льодовиковими, моренними і кінцевоморенними відкладами зледеніння, а також сучасними алювіально-озерно-болотними утвореннями. Водовміщуючі породи – це переважно піски різної крупності, іноді з прошарками супісів, суглинків, глин і торфів. Параметри захищеності ГВ залежать від морфології рельєфу, літологічного складу покривних відкладів, положення рівня ГВ, типу ґрунтів та інших факторів, що пов’язані з кліматом та історією геологічного розвитку і т.п. Основними факторами, що визначають природну захищеність ГВ є літологічні особливості, будова і потужність зони аерації, сорбційні і фільтраційні властивості перекриваючих порід і ґрунтів, інфільтраційне живлення, процеси міграції забруднюючих речовин [5].

При різних видах антропогенної діяльності відбувається забруднення вод зони аерації (води родючого ґрунту й верховодка) та підгрунтових вод. У зв'язку з цим при проектуванні різних інженерних споруд виникає необхідність прогнозування їх можливого впливу на природний стан ГВ, що багато у чому визначається ступенем їх ізольованості від донної поверхні.

В основу *кількісної оцінки захищеності ґрунтових вод* від забруднення фільтратом покладене визначення часу ($t$), за який забруднена вода, що фільтрується з поверхні землі (днища полігону), досягає рівня ГВ. Наближене визначення величини $t$ може бути виконане за відомою формулою Цункера, яку у спрощеному вигляді (для умов однорідного розрізу) записують у такому виді

$$t = (s \cdot H / \kappa_ф) \cdot [\, m / H - \ln (1 + m / H)], \qquad (5.2)$$

де $H$ - висота стовпа забруднених (стічних) вод у межах полігону, м; $\kappa_ф$ - коефіцієнт фільтрації порід зони аерації , м/добу; $m$ - потужність порід зони аерації , м; $s$ – нестача насичення порід зони аерації ($s = n - n_e$, де $n$ - пористість, $n_e$ - початкова вологість порід зони аерації; оскільки $n_e$ звичайно не відома, то при розрахунку замість неї можна використати значення $n$). Тобто формулу (5.2) можна записати таким чином:

$$t = (n \cdot H / \kappa_ф) \cdot [ m / H - \ln (1 + m / H)], \quad (5.3)$$

Розрахунки за формулами (5.2) та (5.3) показують, що час проникнення стоків до ґрунтових вод істотно залежить від значення $\kappa_ф$, але в цілому цей час незначний. Так, при $\kappa_ф$ більше 0,5 м/добу час руху стоків не перевищує декількох діб навіть при відносно великій потужності зони аерації ($m$ > 10 м); при $\kappa_ф$ менше 0,5 м/добу час фільтрації збільшується до декількох діб; при $\kappa_ф$ менше 0,01 м/добу і $m$ більше 20 м - час фільтрації досягає $n \cdot 100$ діб.

При двошаровій будові зони аерації з малопроникним верхнім шаром (водоупором) час інфільтрації стоків (фільтрату) до рівня ГВ складається із часу руху у верхньому ($t_1$) та нижньому ($t_2$) шарах. Час $t_1$ визначається за формулами (5.2) та (5.3) підстановкою в них параметрів $K_1$, $m_1$ для верхнього шару, а час $t_2$ визначається за формулою [37]:

$$t = n_2 \cdot H/\kappa_{ф2} \cdot \{ m_2/H-[1-m_1/ H(\kappa_{ф2}/ \kappa_{ф1}-1)] \ln(1+m_2/H+m_1) \}, \quad (5.4)$$

де $n_2$, $m_2$, $\kappa_2$ - відповідно пористість, потужність і коефіцієнт фільтрації нижнього відносно добре проникного шару.

Аналіз показав, що при $\kappa_1/ \kappa_2 < 0,1$ часу руху стоків у двошаровому розрізі, в основному, визначається часом руху через верхній, слабкопроникний (водотривкий) шар. Тому для наближеної оцінки часу руху стоків крізь двошаровий розріз можна обмежитись визначенням за формулами (4.1.1) і (4.1.2) часу руху стоків крізь слабкопроникний шар шляхом підстановки у ці формули параметрів водотривкого шару. У випадку неоднорідності будови відкладів зони аерації можливий інший наближений підхід: приведення неоднорідного розрізу до однорідного з середнім коефіцієнтом фільтрації:

$$\kappa_{ср} = m / (m_1 / \kappa_{ф1} + m_2 / \kappa_{ф2} + ... + m_i / \kappa_{фi}), \quad (5.5)$$

де - $m_1$, $m_2$,... $m_i$ - потужності окремих шарів, м; $\kappa_{ф1}$, $\kappa_{ф2}$,...$\kappa_{фi}$- коефіцієнти фільтрації цих же шарів, м/добу; $m$ - потужність зони аерації, м.

При фільтрації з поверхні землі стічних вод, що скидаються з постійною витратою $Q$ у приймач площею $F$, можуть бути два випадки.

Якщо $q < \kappa_ф$ (де $\kappa_ф$- коефіцієнт фільтрації порід зони аерації у випадку однорідного розрізу, $q = Q / F$), то стічні води, які потрапляють на поверхню землі (днище полігону) повністю підуть на інфільтрацію, не утворивши на поверхні стовпа води ($H \approx 0$). В такому випадку час досягнення стічними водами рівня ГВ може бути визначений за формулою

$$t = m \cdot n / \sqrt[3]{q^2 \cdot k_\phi} \qquad (5.6)$$

Якщо ж $q > к_\phi$, то на поверхні землі утворюється стовп стічних вод, що змінюється у часі $H = f(t)$, і час фільтрації до рівня ГВ може бути визначений за формулою

$$t = \frac{m}{\frac{(1-n) \cdot k_\phi}{2n} + \sqrt{\frac{(1-n)^2 \cdot k_\phi^2}{4n^2} + \frac{q \cdot k_\phi}{n}}} \qquad (5.7)$$

Коли розріз неоднорідний і складається із декількох шарів з різними фільтраційними властивостями, то час фільтрації можна оцінити таким чином. Якщо $к_\phi$ кожного шару більший $q$, то неоднорідний розріз приводиться до однорідного за допомогою формули (5.5) і розрахунок величини t виконується за формулою (5.6) при підстановці в неї замість $к_\phi$ значення $к_\phi(ср)$. Так саме чинять, якщо $к_\phi$ кожного шару менший $q$, але тільки у цьому випадку величину $t$ розраховують за формулою (4.1.6). Нарешті, якщо для одних шарів $к_\phi > q$, а для інших $к_\phi < q$, то величина $t$ визначається для кожного шару: для шарів з $к_\phi > q$ за формулою (5.7), а для шарів з $к_\phi < q$ за формулою (5.6), і далі одержані значення підсумовуються [37].

Для розрахунку часу фільтрації за формулами (5.6) і (5.7) як розрахункове значення $q$ приймається 0,03 м/добу. За даними [37] скид стічних вод складає: на комунальні поля зрошення 10-30, на землеробські поля зрошення не більше 5-20 і на поля фільтрації 100-300 $м^3$/(га добу). У відповідності з цими даними, приймаючи $Q$ = 300 $м^3$/доб, $F$ = 1 га = 10 000 $м^2$, маємо $q$ = 0,03 м/добу.

За часом досягнення рівня ГВ виділяються такі категорії захищеності ґрунтових вод: I - $t < 10$, П - t = 10 - 50, Ш - $t = 50 - 100$, IV - $t = 100 - 200$, V - $t = 200 - 400$ та VI - $t > 400$ *діб*. Тобто: чим вища категорія, тим краще природна захищеність ГВ від техногенного забруднення.

*Якісна оцінка ґрунтових вод* визначається за такими показниками: 1) глибина залягання ГВ або потужність зони аерації; 2) будова й літологічні особливості порід зони аерації; 3) потужності слабкопроникнених порід у розрізі зони аерації; 4) фільтраційні властивості порід зони аерації і, перш за все, водотривких різностей [37].

Найменш захищеними є ГВ в умовах, коли зона аерації представлена добре проникненими відкладеннями і у їх розрізі відсутні слабкопроникнені літологічні різності. Збільшення глибини залягання ГВ хоча й покращує їх захищеність, але вплив цього фактору менш істотний, ніж наявність водотривких порід у розрізі зони аерації.

Якісна оцінка природної захищеності ґрунтових вод може бути виконана на основі визначення категорій захищеності ґрунтових вод (I, П, Ш, IV, V, VI) у балах. Більш високим категоріям відповідає більша сума балів - сумарний показник захищеності ґрунтових вод.

За вихідну одиницю для оцінки балів прийнятий часу фільтрації $t_1$ крізь зону аерації, складену з добре проникнених порід ($к_ф$ =2 м/добу) потужністю 10 м. Час фільтрації $t_2$ крізь зону аерації потужністю 20 м, яка складається із таких же порід, приблизно вдвоє більший ($t_2 = 2t_1$); крізь зону аерації потужністю 30 м - утроє більший ($t_3 = 3t_1$), тощо.

Звичайно зона аерації (глибина залягання ГВ) коливається від 3 до 30 м, рідко перевищуючи 40-50 м. Тому виділяються 5 градацій глибин залягання: до 10, 10-20, 20-30, 30-40,більш як 40 м. Першій градації з мінімальною (до 10 м) глибиною залягання рівня ґрунтових вод, час фільтрації для якої дорівнює $t_1$, відповідає 1 бал; другий - 2 бали, третій -3 бали, четвертій - 4 бали, п'ятій (більш як 40 м) -5 балів (табл. 5.1).

Потужність водотривких порід зони аерації поділяється на 11 градацій (до 2, 2 - 4, 4 - 6 ... понад 20 м), а серед них за літологічними та фільтраційними особливостями виділяються 3 групи: ***а*** - супіски, легкі суглинки з $к_ф$ = 0,1- 0,01 м/добу; ***с*** - важкі суглинки й глини з $к_ф$ менш 0,001 м/добу; ***в*** - проміжна між ***а*** та ***с*** - суміш порід зі значеннями $к_ф$ = 0,01 -0,001 м/добу (табл.5.2).

Сума балів, що залежить від градації глибин, залягання ґрунтових вод, потужності слабопроникних порід та їх літології, визначає захищеність ГВ, яку виражено *показником захищеності* (*ПЗ*). За значенням *ПЗ* виділяється 6 категорій захищеності ґрунтових вод (табл. 5.3).

### 5.3 Оцінка ступеня захищеності напірних вод від техногенного забруднення

В даний час існують кількісні критерії приблизної оцінки природної захищеності ПВ, що враховують глибину їх залягання, наявність і потужність перекриваючих слабопроникних відкладів, літологічний склад і фільтраційні властивості водоносних горизонтів, які залягають вище, їх сорбційні властивості, співвідношення рівнів води ВГ, а також штучні чи техногенні фактори, серед яких найголовніший – властивості ЗР (наприклад, монтморилонітові глини фільтрують хлоридні розчини і непроникні для прісних вод).

Оцінка захищеності напірних ПВ виробляється для першого від поверхні експлуатованого напірного ВГ, куди ЗР можуть просочуватися з ґрунтового ВГ. Оцінка захищеності напірних ПВ може виконана за наступними критеріями: 1) потужності водоупору; 2) літологічних

Таблиця 5.1- Градації глибин залягання ґрунтових вод
та кількість балів, яка їм відповідає

| Номер градації | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Глибина, м | < 10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | > 40 |

Таблиця 5.2 - Градації потужностей слабопроникнених порід зони аерації
та кількість балів, яка їм відповідає

| Номер градації | Потужність відкладів , м | Група відкладів | | |
|---|---|---|---|---|
| | | ***а*** | ***в*** | ***с*** |
| 1 | < 2 | 1 | 1 | 2 |
| 2 | 2 – 4 | 2 | 3 | 4 |
| 3 | 4 – 6 | 3 | 4 | 6 |
| 4 | 6 – 8 | 4 | 6 | 8 |
| 5 | 8 – 10 | 5 | 7 | 10 |
| 6 | 10 – 12 | 6 | 9 | 12 |
| 7 | 12 – 14 | 7 | 10 | 14 |
| 8 | 14 – 16 | 8 | 12 | 16 |
| 9 | 16 – 18 | 9 | 13 | 18 |
| 10 | 18 – 20 | 10 | 15 | 20 |
| 11 | > 20 | 12 | 18 | 25 |

*Примітка:* ***а*** *– супіски, легкі суглинки;* ***с*** *– важкі суглинки, глини;* ***в*** *– суміш порід груп* ***а*** *та* ***с.***

Таблиця 5.3 - Категорії захищеності ґрунтових вод
(за показником захищеності ґрунтових вод)

| Категорії захищеності | I | II | III | IV | V | VI |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Показник захищеності | < 5 | 5 – 10 | 10 - 15 | 15 – 20 | 20 - 25 | > 25 |

особливостей водотривких порід; 3) фільтраційно-ємнісних параметрах ВГ; 4) співвідношення рівнів досліджуваного і ВГ, що залягає вище.

Надходження ЗР із ґрунтових вод в горизонт напірних вод через водоупор відбувається в результаті перетікання (конвективного переносу), молекулярної дифузії чи спільної дії цих процесів. Основна роль у надходженні ЗР належить конвективному переносу, масштаби якого в умовах зони активного водообміну в багато разів перевершують дифузійний процес.

Велике значення для оцінки захищеності напірних ПВ має співвідношення рівнів напірного і вищезалягаючих водоносних горизонтів, що визначає механізм надходження ЗР у напірний ВГ.

Якщо позначити рівень вищезалягаючого горизонту крізь $H_1$, напірного горизонту, який залягає нижче, через $H_2$, то задля оцінки захищеності напірного водоносного горизонту можуть мати місце три випадки: 1) $H_2 > H_1$; 2) $H_2 \approx H_1$ ; 3) $H_2 < H_1$.

У першому випадку, коли рівні досліджуваного напірного ВГ вищі за рівні вищезалягаючого водоносного горизонту (ГВ), за наявності витриманого по площі і досить потужного водоупору, що забезпечує збереження цього перепаду рівнів, розглянутий напірний ВГ може вважатися захищеним з великою імовірністю для будь-яких видів ЗР, поки виконується умова $H_2 > H_1$. При такім співвідношенні рівнів, коли вертикальний градієнт потоку спрямований знизу нагору (*позитивний градієнт*), надходження ЗР неможливе конвективним шляхом із вищезалягаючого горизонту в напірний ВГ, якій знаходиться нижче. Рух ЗР крізь водоупор у нижній ВГ за цих умов може відбуватися тільки завдяки механізму молекулярної дифузії. Однак дифузійне перенесення буде гальмуватися, тому що градієнт концентрації, який обумовлює процес дифузії, і вертикальний градієнт напору спрямовані в протилежні боки (назустріч один одному). Тому розглянуті гідродинамічні умови характеризують найкращу захищеність напірних ПВ від надходження в них ЗР із вищезалягаючого горизонту.

Менш сприятливою є гідродинамічна ситуація, коли рівні нижчезалегаючого і вищезалягаючого ВГ збігаються ($H_2 \approx H_1$ ). У цьому випадку відсутні спрямований знизу нагору вертикальний градієнт напору, що перешкоджає руху забруднених вод зверху. У той же час відсутні спрямований зверху вниз градієнт напору (*негативний градієнт*), за рахунок якого могло б відбуватися перетікання крізь водоупор забруднених вод зверху. Надходження ЗР у напірний ВГ із вищезалягаючого горизонту здійснюється внаслідок дифузії, що за даних умов не гальмується відсутністю позитивного градієнта напору.

Найменш несприятливими гідродинамічними умовами для захищеності напірних ПВ є такі, коли рівні напірного ВГ нижчі за рівні вищезалягаючого горизонту ($H_2 < H_1$). У цьому випадку має місце спрямований зверху вертикальний градієнт напору, і виникають гідродинамічні умови для перетікання забруднених вод з вищезалягаючого горизонту у нижчезалягаючий горизонт напірних вод. Перенос ЗР через слабопроникаючі відклади буде відбуватися за рахунок спільної дії конвекції і дифузії, спрямованих в один бік.

Співвідношення рівнів ПВ у результаті експлуатації може змінюватися в часі. Так, якщо рівні експлуатованого напірного ВГ були вищі рівня ГВ і напірні ПВ були захищені від надходження в них забруднених ґрунтових вод, то надалі через відбір напірних вод співвідношення рівнів може стати зворотним. Це створить умови для находження ГВ у напірний ВГ і захищеність останнього істотно

погіршиться. Тому гідродинамічний показник $H_2 \geq H_1$ повинний постійно контролюватися. У якості більш стабільних і надійних показників захищеності напірних ПВ розглядаються потужність водоупору, а також фільтраційно-ємнісні властивості водотривких порід [37].

*Якісна оцінка захищеності напірних вод* проводиться за потужністю водоупору чи за відношенням потужності водоупору до його коефіцієнта фільтрації з використанням даних про співвідношення рівнів ПВ.

Виділяються наступні градації потужності водоупору ($m_o$): I < 5 м; П = 5-10 м; Ш = 10-20 м; IV = 20-30 м; V = 30-50 м; VI > 50 м. На підставі цих градацій дається порівняльна оцінка захищеності напірних ПВ: захищеність П краща за І; захищеність Ш краща, ніж П і т.д.

Якщо фільтраційні властивості водоупору відомі (коефіцієнт фільтрації – $к_ф$), то якісна оцінка захищеності може бути виконана за параметром $\alpha = m_o / к_ф$. Захищеність ПВ тим краща, чим більше $m_o$ і менше $к_ф$. Фізично параметр $\alpha$ характеризує час фільтрації (діб) при вертикальному градієнті напору, який дорівнює одиниці. Якщо для потужності водоупору прийняти наведені вище значення $m_o$, а для коефіцієнта фільтрації – інтервали значень від $10^{-3}$ до $10^{-5}$ м/добу, то параметр $\alpha$ буде мінятися від $10^3$ до $10^7$ доби. За значеннями параметра $\alpha$ виділяються наступні градації: I < $10^3$; П = $10^3$-$10^4$; Ш = $10^4$-$10^5$; IV = $10^5$-$10^6$; V = $10^6$-$10^7$; VI > $10^7$. Оцінка за параметром $\alpha$ також носить порівняльний характер.

На основі комбінації двох показників ($m_o$ і співвідношення рівнів $H_2$ досліджуваного напірного ВГ та $H_1$ – залягаючого вище ВГ) можуть бути виділені наступні групи захищеності напірних вод:

*І (захищені)* – напірні ПВ перекриті витриманими за площею і без порушення цільності водоупору при $m_o > 10$ м і $H_2 > H_1$. У групі І захищеність напірних вод забезпечується великою потужністю водоупору і такими гідродинамічними умовами, при яких неможливе перетікання забруднених ПВ зверху. Усередині групи І захищеність буде неоднаковою в залежності від потужності водотривких порід і перепаду рівнів: вона буде тим вища, чим більші $m_o$ і $\Delta H$. Необхідно відзначити, що якщо водоупор не витриманий за площею і є порушення його цілості, то навіть при $H_2 > H_1$ напірний горизонт може вважатися захищеним.

*П (умовно захищені)* – напірні ПВ перекриті витриманими за площею і без порушення цілості водоупору при $m_o$ = 5-10 м і $H_2 > H_1$ (***а***); $m_o > 10$ м і $H_2 \leq H_1$ (***б***).

*Ш (незахищені)* – водоупор незначної потужності $m_o < 5$ м і $H_2 \leq H_1$ (***а***) чи водоупор, не витриманий за площею, є порушення цілості (літологічні «вікна», зони інтенсивної тріщинуватості, розлами), $H_1$ не дорівнює $H_2$ (***б***). Крім того, незахищеними напірні ПВ є також у таких випадках: у річкових долинах, коли водоупор прорізається руслом ріки; у

карстових районах, якщо водоупор захоплюється карстовими процесами; у зоні активного водообміну й інтенсивних неотектонічних посувань.

*Кількісна оцінка захищеності напірних вод* може бути виконана за часом фільтрації забруднених вод з вищезалягаючого ВГ у досліджуваний напірний ВГ через розділяючий цей горизонт водоупор. Час фільтрації ($t$) залежить від потужності водоупору ($m_o$) і коефіцієнту фільтрації водотривких порід ($к_ф$). Він приблизно оцінюється за формулою [37]:

$$t = m_o^2 \cdot n / к_ф \cdot \Delta H, \qquad (5.8)$$

де $к_ф$– коефіцієнт фільтрації водотривких порід; $m_o$ – потужність водотривких порід; $n$ – пористість водотривких порід; $\Delta H = H_2 - H_1$.

З параметрів, що входять до формули, найменш вивченою і важко обумовленою є активна пористість водотривких і насамперед глинистих порід. Тому умовно в розрахунках часу фільтрації через водоупор пористість може бути прийнята рівній 0,01.

Кількісна оцінка виконується за умови, що $H_1 < H_2$, оскільки в цьому випадку існують гідродинамічні умови для перетікання забруднених вод зверху.

Виділяються наступні градації часу фільтрації забруднених вод з вищезалегаючого ВГ в горизонт напірних вод: $t \le 1$; $t$ = 1-5; $t$ = 5-10; $t$ = 10-20; $t > 20$ років. Виділеним градаціям часу фільтрації відповідають градації захищеності (у роках): I ($t < 1$), II ($t$ = 1-5), III ($t$ = 5-10), IV ($t$ = 10-20), V ($t > 20$). Ці градації за часом відповідають виділеним при якісній оцінці групі П «умовно захищені» (градації 2-5) і групі Ш «незахищені» (градація І).

### *5.4 Охорона підземних вод від забруднення*

*Збереження високої якості і запасів ПВ має бути забезпечено шляхом розробки і організації правильних режимів експлуатації ВГ. Дотримування таких режимів можливо на основі надійної системи контролю як за кількісними показниками об'ємів ПВ, так і за змінами їх хімічного складу (макро-, мезо- і мікрокомпонентів). Іншим напрямком охорони ПВ від забруднення є локалізація, ліквідація та запобігання нових техногенних джерел забруднення ВГ (накопичувачів твердих і рідких відходів, очисних споруд, каналізаційних систем, нафтопроводів і накопичувачів нафтопродуктів).*

*Для захисту ПВ від антропогенного забруднення організують зони санітарної охорони (ЗСО), які склюються із трьох поясів.*

*Перший пояс – зона суворого режиму – призначений для захисту свердловини і водозбірних споруд; ця територія огороджується забором. Усяка діяльність і розміщення об'єктів, не пов'язаних з свердловинами і*

*водозбірними спорудами в її межах заборонене. Радіус зони суворого режиму складає ні менш 50 м для свердловин, які експлуатують незахищені ПВ, а також ні менш 30 м для свердловин, які експлуатують захищені ПВ. В особливих гідрогеологічних і санітарно-епідеміологічних умовах з дозволу органів санітарно-епідеміологічної служби радіуси мають бути зменшені вдвоє – 25 м у випадку незахищених і 15 – у випадку захищених ВГ. При експлуатації інфільтраційних споруд (штучне поповнення запасів ПВ) межи ЗСО визначаються на відстані ні менш 50 м від каптажних споруд закритого типу (свердловини, шахтні колодці) і ні менш 100 м від споруд відкритого типу (канали, басейни). Для берегових водозборів (інфільтраційних) в зону суворого режиму відноситься територія між водозабором і поверхневим водоймищем, коли вона має відстань ні більш 150 м. Для підруслових водозаборів зона суворого режиму визначається як і для водозаборів із поверхневих водоймищ.*

*Другий пояс ЗСО – зона обмежувань - передбачає захист водозаборів від мікробних забруднень. На території другого поясу забороняється будь-яка діяльність, яка має бути причиною бактерійного забруднення ПВ ( насамперед, розташування полігонів ТПВ, туалетів, вигрібних ям, сховищ агрохімікатів і отрутохімікатів і т.п.). При розрахунку розмирів другого поясу вихідним є час, необхідній для утрати патогенними мікроорганізмами життєдіяльності і вірулентності, які для умом ГВ складають 400 діб, а для НВ – 100-200 діб. При цьому адсорбція мікроорганізмів в водоносних породах не ураховується. Методика розрахунків розроблена і розглядається в спеціальної літературі. Розміри другого поясу находяться в залежності від величин водовідбору, фільтраційно-ємнісних здібностей і активної пористості порід. Можливі випадки, коли розміри цього поясу менш розмірів зони суворого режиму.*

*Третій пояс ЗСО також є зона обмежувань, яка передбачає запобігання забруднення ПВ на загальний термін експлуатації водозабору. Коли термін спеціально не визначень, то при розрахунку розмірів третього поясу він приймається 25 років. На території третього поясу обмежовується діяльність, яка пов'язана з зберіганням, використанням і внесенням у ґрунтовий покрив хімічних речовин, які мають бути причиною погіршення якості ПВ.*

## Контрольні питання для самоперевірки

1. Що таке захищеність підземної води ?
2. Які природні фактори обмовляють захищеність ґрунтових і напірних вод ?
3. Які основні показники якісної захищеності ґрунтових вод ?
4. Які основні показники кількісної захищеності ґрунтових вод?
5. Що таке зона санітарної охорони підземних вод ?

## ЛІТЕРАТУРА


1.Теория и методология экологической геологии/ Трофимов В.Т. и др. Под ред. В.Т. Трофимова. – М.: Изд-во МГУ, 1997. – 368 с.

2. Экологические функции литосферы/ В.Т. Трофимов, Д.Г. Зилинг, Т.А. Барабошкина и др. Под ред. В.Т. Трофимова.- М.: Изд-во МГУ, 2000, - 432 с.

3. Сергеев Е.М. Инженерная геология – наука о геологической среде. - Инженерная геология. – 1979. - № 1. – С. 1- 9.

4. Королев В.А. Мониторинг геологической среды. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 272 с

5. Адаменко О.М., Рудько Г.І. Екологічна геологія. – Київ: Манускрипт, 1997. – 348 с.

6. Геологическая служба и развитие минерально-сырьевой базы./ Под. ред. А.И. Кривцова. – М.: ЦНИГРИ, 1993. – 617 с.

7. Лукашев К.И. Тревоги и надежды: изменяющаяся биосфера. – Минск: Наука и техника, 1987. – 327 с.

8. Техногенные ресурсы минерального строительного сырья. – М., 1999. – 208 с.

9. Экология, охрана природы и экологическая безопасность/ Под ред. В.И. Данилова-Данильяна. Кр. 1. – М., 1997. – 424 с.

10. Мягков С.М. Природные опасности и стихийные бедствия. – М.: Изд-во МГУ, 1992. –354 с.

11. Стадник Е.В., Колмогорова Л.Г. Ослабленные участки литосферы Земли как структуры формирования поясов минеральных ресурсов и сопряженных поясов экологических возмущений. – Геоинформатика, 1998. - №3. – С. 71-73.

12. Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990 – 335.

13. Ковалевский В.В. Геохимическая среда и жизнь. – М. Наука, 1982. – 282 с.

14. Ландшафтно-геохимические основы фонового мониторинга/ Под ред. М.А. Глазовской. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 238 с.

15. Ковалевский В.В. Геохимическая среда и жизнь. – М. Наука, 1982. – 282 с.

16. Ковальский В.В. Геохимическая экология. – М.:Наука, 1994. – 280 с.

17. Вартанян Г.С. Современные проблемы экогеологии.// Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 1993. - №2. – С. 33-36.

18. Кузин А.М. Природный радиационный фон – зло или благо? – Наука и человечество, 1990. – М.: Знание, 1990. – С. 157-165.

19. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Строчков П.С. Принципы классификаций заболеваний биогеохимической природы//Архив патологии. – М., 1983. - №9. – с. 3-113.

20. Виноградов Б.В., Орлов В.А., Снакин В.В. Биотические критерии выделения зон экологического бедствия России. – М.: ИЛ РАН. Сер. 5. География. – 1993. - №5. – С. 77-79.

21. Инженерно-геологические изыскания для строительства. СП 11-102-97. – М., 1997. – 40 с

22. Методика определения ущерба, обусловленного загрязнением и засорением земельных ресурсов в результате нарушения природоохранного законодательства. К.:Минэкобезопасности, Киев,1998.

23.Соловьев В.И., Кожанова Г.А., Гудзенко Т.В и др. Биоремедиация как основа восстановления нефтезагрязненных почв. – Сб. : Проблемы сбора, переработки и утилизации отходов. – Одесса: ОЦНТЭИ, 2001.

24. Охрана окружающей среды при строительстве разведочных и эксплуатационных скважин на нефть и газ. - Госкомитет Украины по геологии и использованию недр. - Полтавское отделение УкрГГРИ. - Полтава, 1991.

25. Кабата-Пендиас А., Пендиас Р. Микроэлементы в почвах и растениях. – М., 1989. – 436 с.

26. Mueller G. Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins// Veraenderungen seit 1971 – Umschau 79. 1979. H. 24. P. 778-783.

27. Turekian K.K., Wedepohl K.H. Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust// Geological Society of America. Bulletin. 1961. Vol. 72. P. 175-192.

28.Биогеохимическое районирование континентов // Биогеохимические основы экологического районирования. – М., 1993. – С. 5-24.

29. Ермаков В.В. Биогеохимические провинции: концепции, классификации и экологическая оценка// Основные направления геохимии. – М., 1995. – 195 с

30. Экологическая геохимия горнопромышленных районов. – Геологические исследования и охрана недр. Обз. инф. , №2. – М.: Геоинформмарк, 1993. – 50 с.

31. Вахрамеев Г.С. Экологическая геофизика. – Иркутск: Улисс, 1995.

32. Реймерс Н.Ф.Природопользование. Словарь-справочник. - М.: Мысль,1990. - 639 с.

33. Сахаєв В.Г., Шевчук В.Я. Економіка і організація охорони навколишнього середовища. - К.:Вища шк., 1995. - 272 с.

34. Екологічна токсикологія./ В.М. Шумейко, І.В. Глуховський, В.М. Овруцький та ін. – К.: АТ «Видавництво «Столиця», 1998.- 204 с.

35. Классификация грунтов дноуглубления Азово-Черноморского бассейна по степени их загрязненности (в пределах Украины). – Одесса: ЧЦД, 1991. – 17 с.

36. Справочник по охране геологической среды. – Т. 1,2./в.ф. Макляк, Г.П. Панасенко, А.Д. Хованский. Под ред. Г.В. Войткевича. – Ростов на Дону: Феникс, 1996. – 512 с.

37. Гольдберг В.М. Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды. - Л.:Гидрометеоиздат,1987. - 248 с.

38. Магмедов В.Г. Проблема охраны подземных вод от загрязнения. - В кн.:Проблемы охраны вод: Тр. УкрНЦОВ. - Харьков,1993.- Вып.1,2.- С.41-48.

39. Арцев А.И. Инженерногеологические и гидрогеологические исследования для водоснабжения и водоотведения. - М.:Недра,1979. -285 с.

40. Орадовская А.Е., Лапшин Н.Н. Санитарная охрана водозаборов подземних вод. – М.:Недра, 1987.

41. Бочевер Ф.М.,Орадовская А.Е. Гидрогеологическое обоснование защиты подземных вод и водозаборов от загрязнения. - М.:Недра,1972. - 129 с.

42. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент. Справочник.- М.: Энергоиздат, 1982. - 512 с.

43. Бочевер Ф.Н. Основы гидрогеологических расчетов. - М.Недра.1969. -367 с.

44. Бочевер Ф.М., Лапшин Н.Н.,Орадовская А.Е. Защита подземных вод от загрязнения. - М.:Недра,1979. -524 с.

45. Сафранов Т.А., Коніков Є.Г., Полетаєва Л.М., Ротар М.Ф. та ін. Збірник методичних вказівок з дисципліни “Оцінка техногенного впливу на ґрунти і підземні води”. – Одеса: ОГМІ, 1999. – 96 с.

Сафранов Тимур Абісалович

# ОЦІНКА ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ҐРУНТИ І ПІДЗЕМНІ ВОДИ

Конспект лекцій

Одеський державний екологічний університет