

УДК 622.271.3

ББК 33.26

Рекомендовано до видання вченою радою НТУ «Дніпровська політехніка» як монографія (протокол № 4 від 27 квітня 2020 р.)

Рецензенти:

*М.С. Четверик* – д-р техн. наук, завідувач відділу геомеханічних основ технології відкритої розробки родовищ Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України;

*С.О. Жуков* – д-р техн. наук, завідувач кафедри відкритих гірничих робіт, Криворізького національного університету.

Гайдін А.М., Собко Б.Ю.

Озера в залишкових просторах кар’єрів: Монографія / А.М. Гайдін, Б.Ю. Собко . – Д. «Літограф», 2020. – 141 с.

ISBN 978-966-934-253-9

В монографії представлений узагальнений досвід поводження з кар’єрними виробками, що залишаються після припинення видобутку корисних копалин відкритим способом. Найпоширенішим шляхом використання гірничих виробок є перетворення їх в озера. Новоутворені озера характеризуються значними відмінностями від природних. Раціональне освоєння їх екологічного і економічного потенціалу потребує проведення комплексу досліджень з використанням знань з геології, гірничої справи, гідрохімії, гідрології, ландшафтної архітектури. Цей комплекс уособлюється в особливу галузь науки – лімнологію кар’єрних озер.

Книга буде корисна для широкого кола спеціалістів у галузях гірничої справи, геології та широкого кола шанувальників рідної природи.

**ISBN 978-966-934-253-9**

© А.М. Гайдін, Б.Ю. Собко, 2020

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	4
1. ПРИРОДНІ ОЗЕРА .....	7
2. МОРФОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАР'ЄРІВ.....	17
3. ПРОЦЕСИ ЗАТОПЛЕННЯ КАР'ЄРІВ .....	27
4. БЕРЕГОВІ ПРОЦЕСИ .....	44
5. МОРФОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАР'ЄРНИХ ОЗЕР .....	68
6. ФОРМУВАННЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ВОДИ .....	77
7. БІОХІМІЯ І БІОЛОГІЯ КАР'ЄРНИХ ОЗЕР .....	91
8. ГОСПОДАРСЬКЕ ОСВОЄННЯ КАР'ЄРНИХ ОЗЕР .....	98
ВИСНОВКИ.....	130
ЛІТЕРАТУРА .....	133
ГЛОСАРІЙ .....	138

## Вступ

В історії взаємовідносин людини з природою прослідковуються періоди: боготворіння, пізнання, боротьби, підкорення. Саме останній етап наблизив екологічну катастрофу. Настала ера каяття, яке потребує покаяння. І тому наукова спільнота сьогодні прагне до пошуку шляхів сталого розвитку соціосфери. У галузі гірничо-промислової діяльності конкретним проявом каяття і покаяння є відновлення постгірничих ландшафтів.

Ревіталізація є завершальним етапом відробки родовищ корисних копалин. Згідно з Гірничим кодексом України користувачі надр після завершення їх експлуатації зобов'язані привести порушені землі у стан, безпечний для людей й майна та придатний до використання відповідно до земельного законодавства. *Відновлений ландшафт повинен гармонійно вписуватися у навколишнє середовище, доповнюватися елементами, які збільшують його різноманітність, бути естетично привабливим і задовольняти існуючі та майбутні інтереси населення регіону.*

Відновлені території при правильному підході являють собою унікальні ландшафти, які відрізняються різноманітністю форм рельєфу, наявністю водойм, багатством екологічних ніш. При відкритому видобутку корисних копалин ядром посттехногенного ландшафту є кар'єрні виробки. Якщо їх дно знаходиться нижче за рівень ґрунтових вод, кар'єри перетворюються в озера. Згідно з водною директивою ЄС [12] створені внаслідок антропогенної діяльності водні об'єкти слід називати і класифікувати як їх природні аналоги. Озером є масив поверхневої води, який відрізняється від річок повільним водообміном, а від моря – відсутністю прямого зв'язку з океаном. Тобто водойми у виробках кар'єрів і є озерами.

На відміну від природних їх називають «кар'єрними озерами» (англ. pit lakes).

Вони є новими, невірноваженими водними об'єктами, де швидко розвиваються різноманітні геодинамічні, гідрохімічні, біологічні процеси. Закономірності їх перебігу ще недостатньо вивчені внаслідок браку результатів спостережень. Нові озера виникають і розвиваються «тут і зараз» у специфічних природно-технічних системах. Тому вирішення пов'язаних з ними проблем не можливе без інтеграції технічних, природознавчих і гуманітарних наук: гірничої справи, геології і гідрології, гідрохімії, біології і біохімії, ландшафтної архітектури і соціології. Формується нове відгалуження природно-технічних наук – лімнологія кар'єрних озер, що вирішує наступні завдання: 1) обґрунтування концепції ревіталізації посттехногенного ландшафту при створенні озер; 2) розробка ландшафтно-архітектурних планів, з яких випливають види і обсяги постмайнінгу; 3) розробка сценарію затоплення кар'єрних виробок та розрахунків динаміки затоплення; 4) прогнози берегових процесів, хімічного складу озерної води та його змін у часі; 5) оцінка впливу озера на гідрологію і гідрогіологію району; 6) оцінка умов розвитку водної фауни і флори; 7) планування водозахисних смуг та інших заходів з попередження забруднення води і прибе-

режжя; 8) обґрунтування раціонального господарського використання озера і прибережжя.

Актуальність досліджень лімнології кар'єрних озер різко зросла на початку 21-го століття, коли внаслідок соціально-економічних і кон'юнктурних змін багато гірничих підприємств закриваються. З іншого боку, глобальне потепління створює загрозу збільшення площі засушливих земель, які потребують зрошення. Вода є однією з природних основ економічного розвитку і соціального добробуту, але вона є обмеженим та уразливим природним об'єктом. Як писав О.Н. Толстіхін: «Водна криза планети може виявитись значно небезпечнішою за енергетичну – джерела енергетичної сировини, є взаємозамінними, води – ні».

В умовах зростання антропогенних навантажень на природне середовище виникає необхідність розробки правил користування водними ресурсами, раціонального їх застосування та екологічно спрямованого захисту. Активні кроки у напрямі використання покинутих кар'єрів розпочали європейські та східні країни. Успішні проекти продемонстрували Великобританія, Канада, Китай, Португалія, США, Швеція. Найбільші кар'єрні озера відомі в Канаді (Альберта), в США (Сліпер-піт), в Шотландії (Вестфілд), в Іспанії (Ас-Понтея). Тільки в одному американському штаті Невада в кінці 20 століття утворено 30 кар'єрних озер з об'ємом води 1,2 млрд м<sup>3</sup>. В Німеччині на місці колишніх буровугільних розрізів створено більше 100 озер. Біля Лейпціга виник цілий озерний край з 16 нових водойм. В Польщі мешканці Тарнобжега відпочивають на берегах озер Махув і Пясечно на місці сірчаних кар'єрів. В Чехії три буровугільні кар'єри тепер є озерами Чебаровіще, Мост Медард, планується перетворити ще п'ять. В Україні на місці сірчаних кар'єрів виникли Яворівське, Роздільське та Подорожненське озера, глиняного кар'єру – Задорожне. Формується унікальне Домбровське озеро в закритому калійному кар'єрі.

Наука про кар'єрні озера знаходиться на перетині гірничої справи з лімнологією природних озер. Початок лімнології пов'язаний з швейцарським вченим Франсуа Форелем, який вивчав Женевське озеро. Основи озерознавства в колишньому СРСР заснували Д.М. Анучин, Л.С. Берг, О.І. Воєйков. У кінці минулого століття сформувався такий самостійний напрям науки як гідрологія озер та штучних водосховищ, а також з'явилися перші праці, присвячені озерам у кар'єрних виробках.

Однією з перших узагальнюючих робіт з лімнології кар'єрних озер є книга Крістофера Гаммонса із співавторами, де розглянуті їх особливості у порівнянні з природними. Особливо важливим є той факт, що більшість кар'єрних озер є мероміктичними, в них вода перемішується тільки у верхній частині водної товщі. В 2017 році була видана фундаментальна праця «Екологія мероміктичних озер», у створенні якої приймали участь 47 співавторів із 12 країн. В монографії описано 83 таких водойм на п'яти континентах, окрім Австралії. Автори обґрунтували необхідність виділення вчення про мероміктичні озера в окрему галузь лімнології, посилаючись на наступні аргументи.



1. В цілому світі багато кар'єрів припиняють діяти і затоплюються. Утворені озера зазвичай є мероміктичними. Щоб регулювати якість води в них, потрібно знати механізми сегрегації та змішування.

2. Мероміктичні озера можуть створювати пряму небезпеку, про що свідчать катастрофи в Камеруні. 21 серпня 1986 року з глибини озера Ніос було вивергнуто близько  $1,2 \text{ км}^3$  газоподібного діоксиду вуглецю ( $\text{CO}_2$ ), що стало причиною загибелі 1746 людей. За два роки до того менш масштабна схожа лімно-логічна катастрофа відбулась на озері Монум. Необхідно навчитися прогнозувати такі стихії та запобігати їм.

3. Зміни клімату можуть призвести до того, що деякі голоміктичні озера перетворюються в мероміктичні і це може викликати стресові ситуації для їх екосистем.

4. В нових мероміктичних озерах здійснюються численні біохімічні та мікробіологічні процеси, дослідження яких може бути корисним для розвитку біотехнологій.

В останні роки проблемі кар'єрних озер була присвячена низка міжнародних конференцій. Одна з перших мала назву «Kształtowanie krajobrazu terenów posteksploatacyjnych w górnictwie» (Формування постексплуатаційних ландшафтів в гірництві) і відбулась 2003 року в Кракові. У 2016 році проходила конференція «Mining Meets Water – Conflict and Solution» у ФРН, в 2017 – «Mine water Circular Economy» у Фінляндії, у 2018 – «Risk to Opportunity» в ПАР. В Україні перше узагальнення досвіду перетворення кар'єрів в озера висвітлено в роботі І.І. Зозулі та А.М. Гайдіна «Нові озера Львівщини» (2009 р.), надалі тему частково відображено в книгах А.М. Гайдіна у співпраці з Г.І. Рудьком, Б.Ю. Собком, В.М. Шестоपालовим та ін. [9,10]. Зазначені примірники вийшли мізерними тиражами та швидко розійшлися.

Перетворення кар'єрів в озера є кінцевим етапом освоєння родовищ корисних копалин, коли гірники передають, так би мовити, наслідки своєї діяльності екологам та ландшафтним архітекторам. Отже необхідні їх взаєморозуміння та спільна робота задля забезпечення якості життя місцевих жителів і українців в цілому. Книга, що ми пропонуємо, повинна стати містком над прірвою, що розділяє гірників та екологів.

Створення цієї монографії було б неможливим без самовідданої праці дослідників кар'єрних озер В.О. Дяківа, В.М. Костюка, М.С. Ковальчука, а також співробітництва з українськими і зарубіжними колегами, яким автори висловлюють свою велику подяку. У формативанні видання приймали участь аспіранти М.О. Чебанов та В.А. Кардаш яким автори також щиро вдячні.

## 1. Природні озера

*Бог сотворив озера для того,  
щоб ангели, дивлячись в них, як у дзеркало,  
розправляли та чистили свої білосніжні крильця.*

Автор невідомий

**Водойми.** Водна директива ЄС [12] визначає озеро як «масив стоячої внутрішньої поверхневої води». Слід зауважити, що цей термін не є достатнім, адже переважно озера є проточними, вода в них не стоїть, а тече від гирла водотоків, що його живлять, до місця розвантаження. Не зовсім зрозуміло, що мається на увазі під «внутрішньою» водою.

За Б.Б. Богословським [4] озером називають масив поверхневої води, який відрізняється від річок повільним водообміном, а від моря – відсутністю прямого зв'язку з океаном. Від водосховищ на річках вони відрізняються відсутністю гребель.

У Водному кодексі України даються роз'яснення про будь-які масиви води. Водойма – це «безстічний або із сповільненим стоком поверхневий водний об'єкт».

До водойм відносяться (рис.1.1):

**водосховище** – штучна водойма місткістю більше 1 млн м<sup>3</sup>, споруджена для створення запасу води та регулювання її стоку;

**ставок** – штучно створена водойма місткістю не більше 1 млн м<sup>3</sup>;

**технологічна водойма** – штучно створена водойма спеціального технологічного призначення, що визначається технічним проектом та/або паспортом, яка наповнюється штучно за допомогою гідротехнічних споруд і пристроїв;

**озеро** – природна западина суші, заповнена прісними або солоними водами.



Рис.1.1. Водойми

Водойми в затоплених кар'єрах не підпадають під будь-яке визначення з Водного кодексу. Вони не є *водосховищами* або *ставками*, адже не створені для запасу води та регулювання її стоку. Кар'єрні озера не є *технологічними водоймами*, адже не мають спеціального призначення.

Згідно з Водною директивою ЄС створені в результаті антропогенної діяльності водні об'єкти слід називати і класифікувати як подібні природні. Тобто водойми у виробках кар'єрів є озерами, хоча і знаходяться не в природних, а в штучно створених западинах суходолу. На відміну від природних, їх називають кар'єрними, в англійській літературі – «open pit lakes» або просто «pit lakes».

**Озерознавство або лімнологія.** Дослідженнями процесів, що здійснюються в природних озерах, займається наука лімнологія, предметом якої є весь комплекс взаємопов'язаних фізичних, хімічних і біологічних процесів, що визначають життя водойми.

Засновником наукового озерознавства вважають [3] швейцарського вченого Ф. Фореля, який 1885 року запропонував першу класифікацію озер та сформулював основні принципи і завдання лімнології на Лондонському міжнародному географічному конгресі. Першими озерознавцями в дореволюційній Росії, а згодом і в СРСР були Д. М. Анучин, Л.С. Берг, О.І. Воєйков.

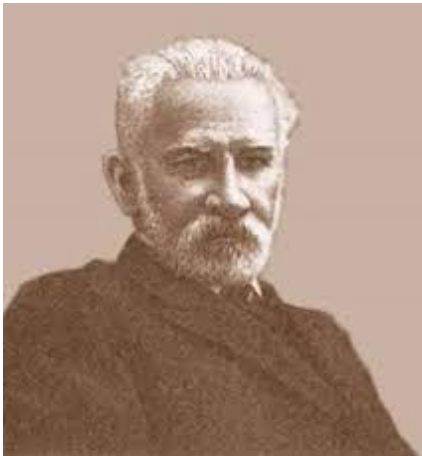


Рис.1.2. Озерознавець  
Дмитро Миколайович  
Анучин



Рис.1.3. Олександр Іванович  
Воєйков – кліматолог  
і географ

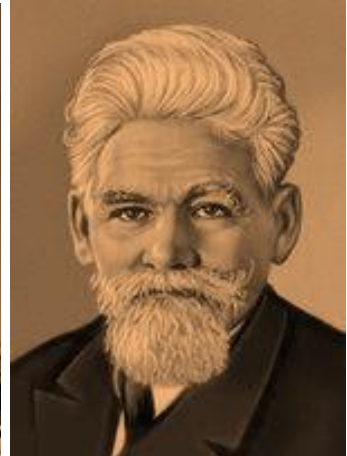


Рис.1.4. Леонід Семенович  
Берг – географ  
та зоолог

Систематичні дослідження озер організувало Російське географічне товариство. У ХХ столітті в Ленінграді був створений Інститут озерознавства, а також Лімнологічний інститут на Байкалі та Інститут внутрішніх вод на Рибинському водосховищі. Як результат їх досліджень у другій половині двадцятого століття сформувалися окремі галузі гідрології водойм: природних озер, водосховищ і ставків. В кінці століття почала швидко розвиватися лімнологія кар'єрних озер.

Основними напрямками досліджень у лімнології є вивчення морфології озерних улоговин, умов водообміну та змін рівня озерної води, динаміка, температурна та щільнісна стратифікація водної товщі, термодинамічний та льодовий режим, формування хімічного складу води, склад та розвиток гідробіонтів, накопичення осаду на озерному дні, використання рибного багатства озер та розвиток відповідного господарства.

**Походження природних озер.** Улоговини природних озер утворюються як результат тектонічних рухів, вулканізму, метеоритного бомбардування, діяльності давніх і сучасних льодовиків, провалів над карстовими порожнинами, зсувів та обвалів в гірських ущелинах, а також при змінах річищ рівнинних річок.

*Тектонічні озера* утворюються в западинах земної кори, що виникають внаслідок розтягувальних напружень на межах тектонічних блоків. Характери-



зуються витягнутою формою і великою глибиною. До них відносяться найглибше в світі озеро Байкал, високогірне озеро Тітікака в Андах, Танганьїка в Африці.



Рис.1.5. Тектонічне озеро Байкал

*Вулканічні озера* поширені там, де спостерігається інтенсивна вулканічна діяльність: в Ісландії, Італії, на Камчатці, островах Індонезії. Вони утворюються в кратерах згаслих вулканів. Відрізняються круглою формою в плані, відносно невеликою площею, дуже великою глибиною. Авернське озеро в Італії древні римляни вважали одним із входів до пекла. Птахи, пролітаючи над ним, падали нежевими від отруйних газів. Подібними до вулканогенних є озера, улоговини яких утворилися внаслідок вибухів природних газів [27].



Рис.1.6. Вулканічне озеро Керіз в Ісландії

*Метеоритні* озера через круглу форму подібні до вулканічних, але можуть утворюватися за межами районів поширення вулканів. На думку авторів, прикладом такої водойми є Світязь на Волині. Улоговина сформувалася перед наступом льодовика і надалі була заповнена кригою. Після відступання льодовика крига розтанула, цим пояснюється ультрапрісний склад води в озері. Низка подібних водойм знаходиться на території Білорусі.



Рис.1.7. Озеро Світязь у Волинській області України ймовірно метеоритного походження

*Льодовикові* озерні улоговини сформувались внаслідок діяльності давніх і сучасних льодовиків. Форма льодовикових озер різноманітна. Виділяють ерозійні, акумулятивні, камові, моренно-запрудні льодовикові улоговини. Велика кількість древніх льодовикових озер утворилася вздовж кордону України з Білоруссю, де проходила межа останнього зледеніння. Багато льодовикових озер є в Карпатах: Апшинець, Бребенескул, Брескул, Верхнє та ін. Невеликі льодовикові озера спостерігаються в місцях, де при відступанні льодовика залишалися останці льоду. Навколо них накопичувалися теригенні ґрунти, і після розтанення криги залишалися улоговини.

*Завально-загатні* озера утворюються в міжгірних долинах внаслідок обвалів та зсувів схилів. Так, наприклад, з'явилися Синевир в Карпатах, Тана в Африці, Ріца в Абхазії.





Рис.1.8. Озеро Ріца в Абхазії

*Провальні* (карстові та термокарстові) озера утворюються над підземними карстовими порожнинами в зонах поширення розчинних гірських порід: гіпсу, вапняку, кам'яної солі, зокрема в Передкарпатті. Відрізняються круглою формою, малими розмірами у плані та відносно великою глибиною. Термокарстові озера трапляються в зонах вічної мерзлоти. Вони з'являються в місцях розвантаження теплих підземних вод, під впливом яких розтають включення льоду в мерзлих породах.



Рис.1.9. Карстове озеро на околиці м. Новояворівськ

До цього типу відносяться і провальні озера над гірничими виробками, наприклад Солотвинські. В зоні вічної мерзлоти розповсюджені також озера, улоговини яких утворилися внаслідок прориву і вибуху газів, що накопичуються під непроникним шаром мерзлих порід [27].

*Стариці* утворюються в результаті зміни русла річки, коли на заплаві залишається ділянка старого річища. Такі озера трапляються поблизу русел рівнинних річок, мають видовжену форму, невелику глибину. В повеневі періоди стариці часто перетворюються в рукав річки.

Незалежно від того, як утворилися первинні озерні улоговини, надалі вони змінюються під впливом екзогенних процесів: ерозії, абразії, акумуляції річкових наносів, а також заростання мілководь та накопичення продуктів життєдіяльності водних рослин та тварин: торфу і сапропелю. Під впливом цих процесів озера старіють, міліють і перетворюються в болота. Термін озерного життя залежить від початкової форми улоговини та клімату, що визначає активність геодинамічних та біохімічних процесів.

**За типом водообміну** розрізняють озера стічні, проточні, безстічні, із змінним стоком. Стічні служать витокom річок, проточні – гирлом і витокom. Стічні і проточні озера поширені в зонах гумідного клімату, де опади переважають над випаровуванням. Безстічні озера лише приймають води з джерел живлення, а втрачають її через випаровування та інфільтрацію в горизонти підземних вод. Такі водойми трапляються в місцевостях з аридним кліматом. Прикладом безстічних озер є Балхаш в Казахстані. До особливої категорії відносять проточні карстові озера, в яких живлення і розвантаження часто здійснюється підземними потоками в підземних порожнинах.

**За хімічним складом води** розрізняють озера полярної, помірної (гумідної) та аридної кліматичних зон. У відповідності до клімату вони бувають прісні (до 1 г/л), мінеральні (до 35 г/л), солоні (содові, сульфатні, хлоридні). Полярні озера наповнюються при таненні снігу і вода в них є переважно ультрапрісною, з мінералізацією близько 100 мг/л. Озера гумідного типу внаслідок переваги опадів над випаровуванням зазвичай прісні з мінералізацією до 1 г/л.

Озера аридної зони поділяються на періодично стічні та безстічні. В умовах посушливого клімату вода в озері інтенсивно випаровується і концентрація розчинених у ній солей поступово збільшується. Тому в більшості водойм аридного типу вода мінералізована або солонна. Солоні озера можуть утворюватися також при наявності в ложі легко розчинних солей, як приклад – Баскунчак в Астраханській області Росії.

**За біопродуктивністю** розрізняють озера оліготрофні, евтотрофні, дистрофні (грец. *eu* – хороший, *oligos* – нечисленний, *dus* – розладжений, *trophe* – живлення). Як і хімічний склад, біопродуктивність озер відповідає кліматичним поясам. *Оліготрофні* полярні озера зазвичай глибокі, бідні на фітопланктон, містять мало поживних речовин, багаті киснем. Вода в них прозора, блакитна або смарагдова. Такі водойми притаманні також високогірним місцевостям.

*Евтрофні* озера мають сприятливі умови для розвитку рослинного та тваринного світу, оскільки є не глибокими (до 10 – 15 м) і просвічуються сонцем до дна. Вода в них бірюзова або зелена, влітку спостерігається її цвітіння.





Рис.1.10. Дистрофне карстове озеро

*Дистрофні* озера – заболочені, в них фауна та флора бідні. Часто вода має кислу реакцію, в ній не розкладається гумус і тому вона коричнева, майже чорна.

**Зональність водної товщі** озер обумовлена залежністю щільності води від температури і мінералізації [Хенд]. Вона визначається приблизною формулою:

$$\rho = 1 + 0,00067 * M - 0,00011 (T - 4), \text{ г/см}^3,$$

де  $M$  – мінералізація води в г/л,  $T$  – температура в градусах Цельсія. Найбільшу щільність вода має при температурі  $4^{\circ}\text{C}$ .

В результаті нагрівання води сонячними променями верхня частина водної товщі має більшу температуру і меншу щільність. В літній період в середніх широтах вода прогрівається до  $20^{\circ}\text{C}$ . Як наслідок здійснюється стратифікація водної товщі – утворення шарів води з різною щільністю. Верхня зона, в яку проникає світло, називається фотичною, а глибша, де темно і немає зелених водоростей, носить назву афотична. Глибина фотичної зони залежить від прозорості води. В оліготрофних озерах вона досягає 15 – 20 м. В зимовий період лід заважає проникненню сонячного світла у водну товщу, особливо якщо крига покрита снігом.

В голоміктичних озерах розрізняються дві зони. Верхню частину водної товщі, яка просвічується і прогрівається сонцем, називають епілімніоном, а нижню – гіполімніоном. Перехідна між ними – термоклинном або металімніоном. Характерний графік розподілення температури по глибині наведений на рис. 1.11.



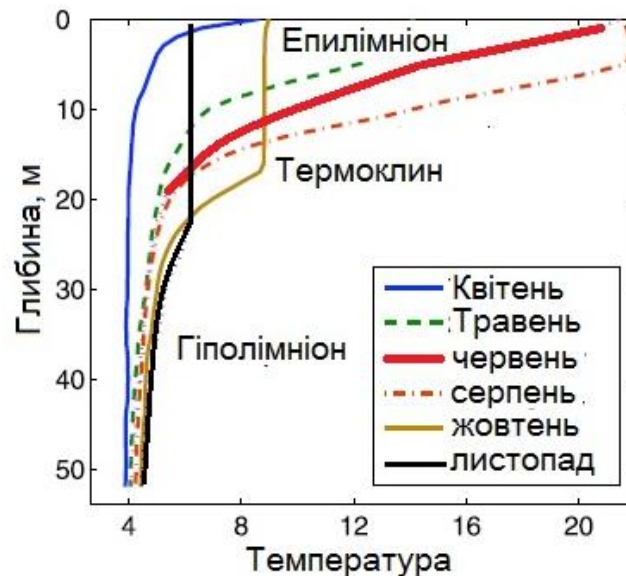


Рис. 1.11. Температурний профіль озера Мондзе (Австрія) в різні періоди року [ В ]

Восени, коли поверхня води охолоджується і температура стає меншою за  $4^{\circ}\text{C}$ , здійснюється перемішування (інверсія) водної товщі і встановлюється гомотермія – однакова по всій глибині температура води. Осіння гомотермія починається при різній температурі, при цьому в мілководних озерах раніше, ніж у глибоких. В озерах з тропічним кліматом температура води ніколи не спадає нижче  $4^{\circ}\text{C}$ , сезонні перемішування не спостерігаються [62]. Винятком з цього правила є тільки озера, здебільшого вулканічного походження, через дно яких пропливає гаряча підземна вода.

У мероміктичних озерах розрізняються три зони (рис.1.12). У них перемішування та інверсія водної товщі здійснюється тільки в двох верхніх зонах. Найглибша, застійна частина мероміктичного озера носить назву *монімолімніон* (monimolimnion). Граничний шар між гіполімніоном і монімолімніоном визначається терміном *хемоклин* (chemocline).



Рис. 1.12. Схема сезонної стратифікації і рециркуляції водної товщі в мероміктичних озерах. За R. Gulati, E. Zadereev [50]

За умовами життєдіяльності біоти в озерах виділяють три екологічні ніші: *літораль* або прибережна мілина, *профундаль* – глибоководний схил і *пелагіаль* – ділянка дна водойми. Літораль розповсюджується до глибини проникнення світла 15 – 20 м (рис.1.13). Тут ростуть зелені водорості і зосереджена риба та інші гідробіонти. В умовах помірного клімату в літоралі смугами розвивається рослинність: осока, очерет, рогіз, водяні лілії, рдесник.



Рис.1.13. Біохімічна зональність озер

У профундалі умови для життя фототрофних (зелених) водоростей відсутні. У верхній частині пелагіалі розвивається *планктон* – організми, які пасивно переносяться течією, і *нектон* (вільно плаваючі риби, водні тварини).

Мертві залишки і продукти життєдіяльності водної біоти поряд з матеріалом, що приносять річки, відкладаються на дні і служать середовищем існування *бентосу*. В гіполімніоні за відсутності світла зелені водорості не живуть, кисню немає і часто утворюється отруйний сірководень.

Кожному вертикальному шару водної товщі притаманні свої фізичні властивості води, характер біохімічних процесів і умов існування біоти. На межі між епілімніоном і гіполімніоном (в металімніоні) відбувається масова загибель організмів, які накопичуються на дні.

При наявності припливу річкових вод спостерігаються різні механізми поширення річкової води. Влітку в річках вона нагрівається швидше, ніж в озері, є теплішою за озерну, тому розповсюджується у верхній частині водної маси. Натомість восени, коли температура річкової води стає нижчою за озерну, річка пірнає на дно, виштовхуючи мінералізовану воду нагору. У випадку, коли температури річкової і озерної води збігаються, фронт поширення річкової води швидко розсіюється. Тоді здійснюється додаткове перемішування води, вертикальна зональність згладжується.

На стратифікацію водної товщі впливають також виходи на глибині підземних вод, температура яких в західній Україні становить 12 – 13°C. Взимку

підземні води тепліші і легші за озерні і тому спливають до поверхні, а влітку піднімаються тільки до термоклину.

**Висновки до розділу 1.** Згідно з Водною директивою ЄС створені в результаті антропогенної діяльності водні об'єкти слід називати так, як природні. Тобто водойми у виробках кар'єрів є озерами. На відміну від природних вони мають назву кар'єрних, в англійській літературі – «open pit lakes» або просто «pit lakes».

Дослідженнями процесів, що здійснюються в природних озерах, займається наука лімнологія, предметом якої є весь комплекс взаємопов'язаних фізичних, хімічних і біологічних процесів, що визначають життя водойми. Лімнологія природних озер є базою для вивчення, прогнозування, та використання водойм в улоговинах затоплених кар'єрів.

## 2. Морфологічні характеристики кар'єрів

*Горняки! Скажу вам прямо:  
Стонет матушка земля,  
Когда роете вы ямы  
Там, где рожи и поля.*

В історії гірництва, як і в багатьох інших галузях цивілізаційного прогресу, відстежується спіралеподібна циклічність. Впритул до вісімнадцятого століття корисні копалини видобували переважно відкритим способом, із ям. Проникнути глибоко в надра заважала вода.

Після того, як були винайдені насоси з паровим двигуном, ця перепона щезла, відкрилася можливість копати глибокі шахти. Підземний спосіб видобутку корисних копалин переважав перед відкритим до початку ХХ століття.



Рис. 2.1. Панорама Подорожненського сірчаного кар'єру.  
Ліворуч – корінний борт, праворуч – внутрішній відвал. 2000 р.

Далі з'явилися могутні гірничі машини, спроможні в буквальному сенсі перевернути гори. На рис 2.1 подано загальний вигляд потужного роторного екскаватора продуктивністю за гірничою масою понад 5500 м<sup>3</sup>/год.

Настала ера відкритого видобутку корисних копалин. Нині глибина кар'єрів досягла 1100 м (Lone Tree pit, США, шт. Невада). Залізородні кар'єри України мають рекордні глибини понад 500 м.





Рис. 2.1. Загальний вигляд потужного роторного екскаватора

В наш час запаси корисних копалин на невеликій (50 – 200 м) глибині незабаром будуть вичерпані. Наступне поглиблення кар'єрів настільки збільшує витрати, що видобуток стає нерентабельним. В результаті вичерпання запасів та змін кон'юнктури світового ринку багато кар'єрів призупиняють свою діяльність. Залишилися тисячі кар'єрних виробок в залізородних, вугільних та інших гірничо-рудних районах.

Форма кар'єрних виробок залежить від фізико-механічних властивостей гірничих порід, геологічних і гідрогеологічних особливостей залягання родовища корисних копалин, а також від технології видобутку і транспортування руди.

Під час відпрацювання м'яких гірничих порід за безтранспортною системою розробки за допомогою екскаваторів (драглайнів) утворюються довгі вузькі виробки (розрізні траншеї), асиметричні по довгій осі. Одна сторона – робочий борт – східчаста, протилежна – внутрішній відвал – рівна, пологіша. При відробці гірничих порід екскаваторами з навантаженням на транспортні засоби кар'єри зазвичай глибокі, округлої форми, борти в них східчасті.

За формою розрізняють витягнуті та округлі кар'єри. За розмірами – малі (площа до 1,5 км<sup>2</sup>), середні (до 5 км<sup>2</sup>), великі (5 – 30 км<sup>2</sup>).

Головними параметрами кар'єрів є кінцева глибина, розміри у плані за поверхнею і дном, кути укосу бортів, об'єм вийнятого ґрунту та внутрішніх відвалів в контурах кар'єру. Глибина кар'єрів на сьогодні зазвичай становить до 400 м, в перспективі досягне до 700 – 900 м. Розміри за поверхнею залежать

від форми покладів корисної копалини, глибини і кута нахилу бортів. В Україні довжина кар'єрів сягає 8 км при ширині 4 км. Розміри дна кар'єрів встановлюються за умови безпечної роботи працюючих механізмів. Мінімальною є ширина 20 м і довжина 50 – 100 м.

Кут укосу борта залежить від міцності порід прибортового масиву. Розрізняють робочий та неробочий борт кар'єру. Неробочий складається з транспортних майданчиків, бERM безпеки і уступів (рис. 2.3).

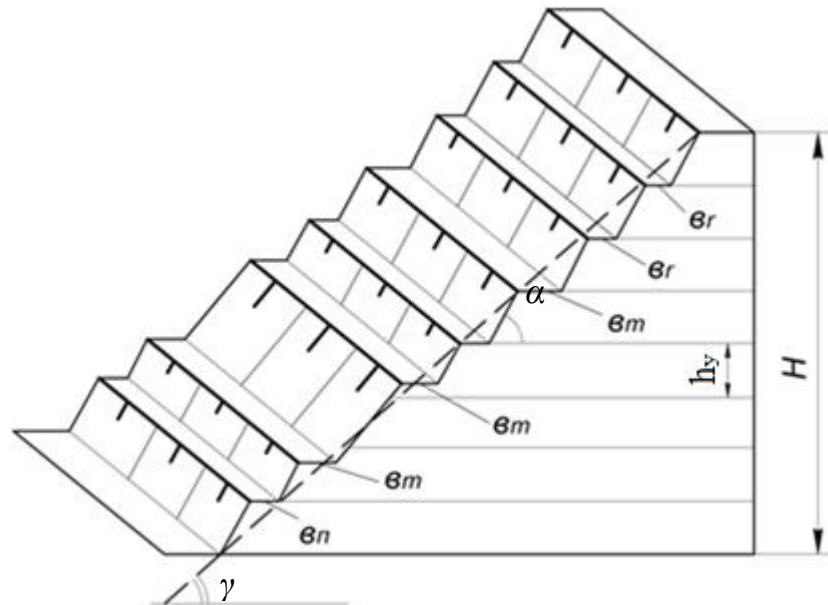


Рис. 2.3. Неробочий борт кар'єру

Кут нахилу укосу уступів для рихлих порід приймають зазвичай  $32 - 40^\circ$ , а для скельних –  $70 - 80^\circ$ . В гранітних, мармурових та інших кар'єрах, де породи мають високу міцність і монолітність, уступи можуть бути близькими до вертикальних.

Величина кутів укосу неробочих бортів кар'єру в залежності від гірничих порід наступна: скельні –  $35 - 45^\circ$ ; напівскельні –  $28 - 35^\circ$ ; глинисті –  $18 - 25^\circ$ .

В свою чергу робочий борт кар'єру складається з робочих майданчиків виймально-навантажувального обладнання, що включають укоси уступів, ширину заходки екскаваторів, транспортних смуг, запобіжного валу, призми ймовірного обвалення (рис. 2.4).

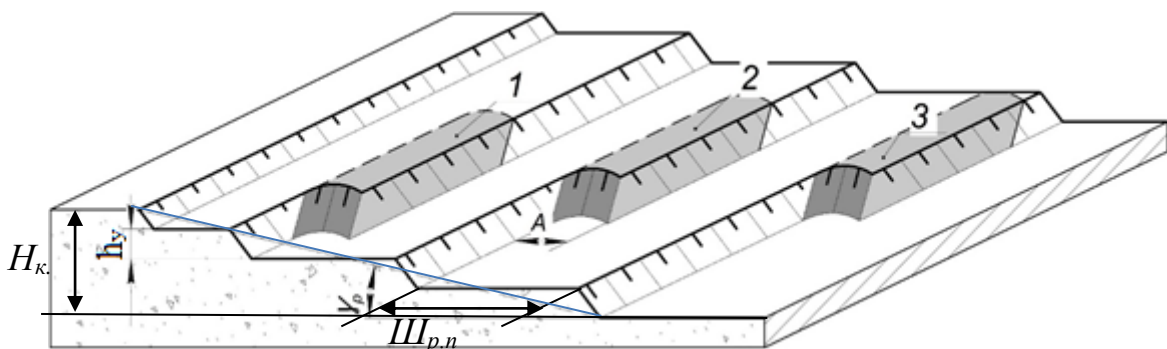


Рис. 2.4. Робочий борт кар'єру

Наприклад, під час роботи в кар'єрі екскаваторів (механічних лопат) разом із залізничним транспортом мінімальна ширина робочого майданчика при м'яких розкривних породах і двоколіїному русі потягів (рис. 2.5) визначається за формулою:

$$Ш_{р.н.} = A + C_1 + E + C_2 + П_1 + Z, \text{ м,}$$

де  $A$  – ширина екскаваторної заходки, м;  $C_1$  – відстань від нижньої бровки уступу до осі залізничної колії,  $C_1 \geq 3$  м;  $E$  – відстань між осями залізничної колії (при двоколіїному русі по робочому майданчику),  $E = 4,5 - 8$  м,  $C_2$  – відстань від осі, залізничної колії до кромки майданчика для додаткового обладнання,  $C_2 = 3$  м;  $П_1$  – смуга для розміщення додаткового обладнання,  $П_1 = 6$  м;  $Z$  – ширина призми ймовірного обвалення порід, м.

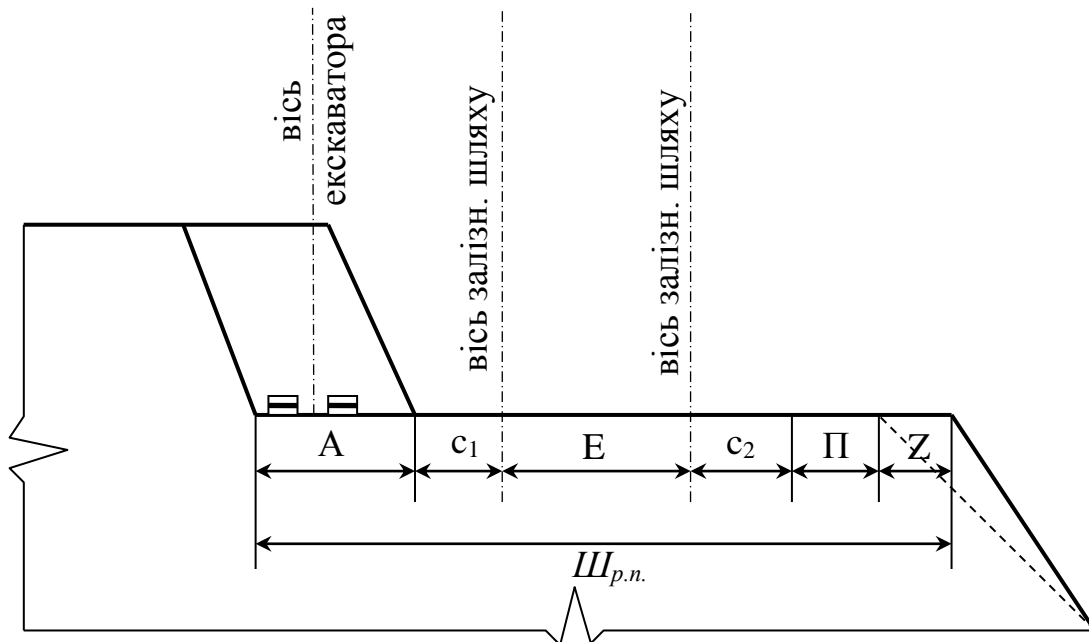


Рис. 2.5. Робочий майданчик при застосуванні залізничного транспорту

Під час роботи екскаваторів з автомобільним транспортом мінімальна ширина робочого майданчика при м'яких розкривних породах (рис. 2.6) визначається за формулою:

$$Ш_{р.н.} = A + 2C + D + Z, \text{ м,}$$

де  $C$  – берма безпеки (від нижньої бровки уступу до кромки проїзної частини і від краю проїзної частини до кромки призми ймовірно обвалення порід),  $C \geq 3$  м;  $D$  – ширина проїзної частини (із зазором між смугами руху  $m = 2$  м при двохсмуговій проїзній частині), м.

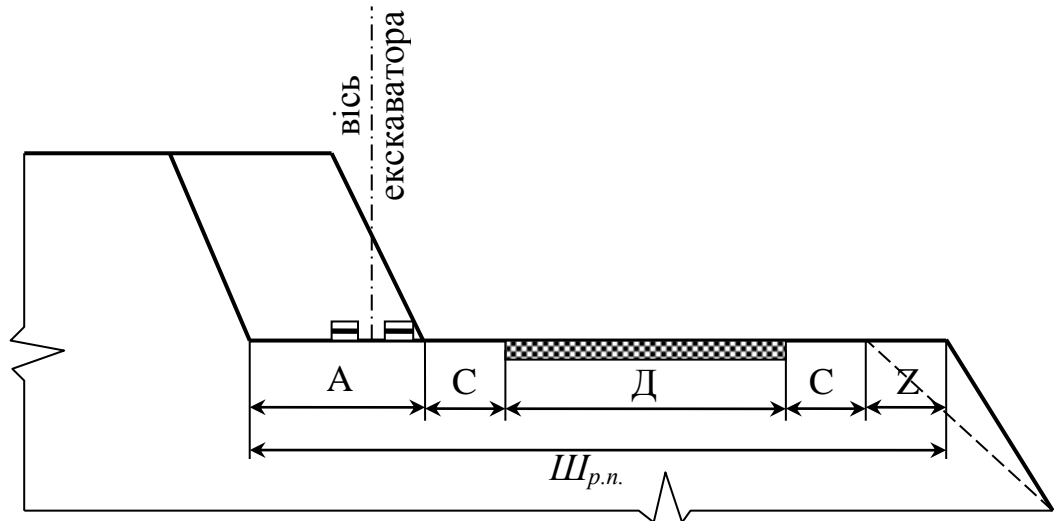


Рис. 2.6. Робочий майданчик при застосуванні автомобільного транспорту

Висота уступу в кар'єрах вибирається за умовами безпеки ведення гірничих робіт, фізико-механічними властивостями порід, типом виймально-навантажувального обладнання і його раціональним використанням. Висота уступу повинна забезпечувати необхідну продуктивність і ефективність робіт в кар'єрі. Зазвичай в кар'єрах вона знаходиться в межах 10 – 20 м.

Ширина берм безпеки становить не менше третини висоти уступу. В рихлих породах її приймають 4,5 м, а в скельних – 14,7 м. Ширина транспортних берм обирається з врахуванням виду транспорту. Загальна їх ширина становить 25 – 30 м. При автомобільному транспорті берма складається із закюветної полиці шириною від 0,5 до 2,5 м, кювету або лотка – шириною 0,5 – 2,5 м, частіше 1,5 м; узбіччя дороги шириною 1,5 м, проїзної частини шириною близько 10 м і запобіжного валу та призми ймовірного обвалення укосу (близько 4 м). Кінцевий кут укосу борта кар'єру називається кутом погашення і зазвичай становить від  $30^\circ$  в осадових до  $43^\circ$  в скельних породах.

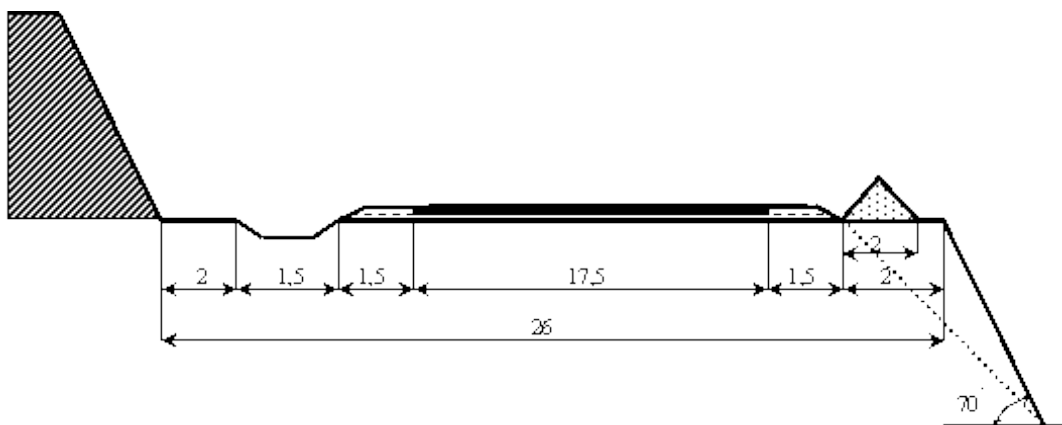


Рис. 2.7. Транспортна берма при застосуванні автомобільного транспорту

Для родовищ в осадових породах характерна субгоризонтальна пластоподібна форма покладів. До таких відносяться родовища бурого вугілля, марган-



цю, сірки, розсипних руд титану, будівельних матеріалів. Кар'єри зазвичай мають великі розміри в плані і відносно невелику глибину.

Їх будівництво розпочинається з проходки капітальної траншеї, яка служить для транспортування розкривних порід у зовнішні відвали і видобутої руди на збагачувальну фабрику. Розкривні породи на початку розробки родовища вивозять на зовнішні відвали, а після утворення достатнього виробленого простору складають у внутрішніх виробках кар'єру, формуючи внутрішні відвали.

Після припинення видобувних робіт залишається виробка, в якій розрізняються глибокі видобувні траншеї з крутим східчастим робочим бортом (35 – 40°), внутрішні відвали, схили яких відповідають куту природного укосу (20 – 25°), та виїзні траншеї з нахилом до 10°. Борти кар'єрів часто нестійкі і після завершення експлуатації продовжують деформуватися внаслідок розмиву та вивітрювання.

**Сірчані кар'єри.** Для прикладу на рис. 2.8 показаний геологічний план і розріз Яворівського сірчаного кар'єру. Він розвивався на південь і на північ, де знаходилися видобувні траншеї. Верхівки внутрішніх відвалів знаходяться нижче рівня затоплення, тому площа водного дзеркала практично дорівнює площі кар'єру по зовнішньому контуру.

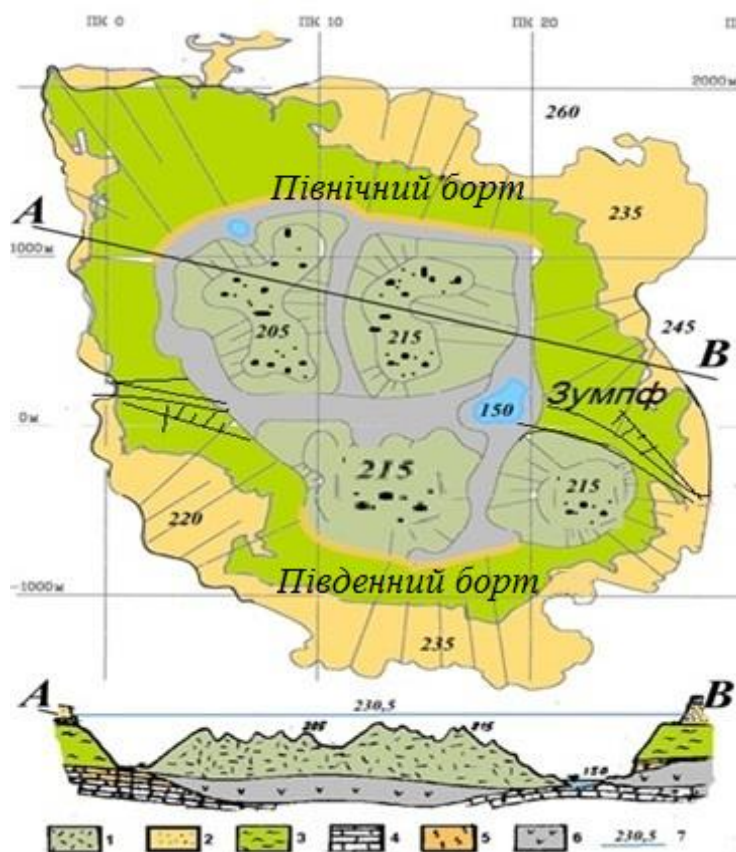


Рис. 2.8. План і розріз Яворівського сірчаного кар'єру. 1 – внутрішні відвали, 2 – четвертинні відкладення, 3 – неогенові глини, 4 – вапняк, 5 – сірчана руда, 6 – гіпсоангідрит, 7 – рівень затоплення

На відміну від Яворівського, Роздільський сірчаний кар'єр розвивався в одному північному напрямку. Південна і центральна частини виробленого простору повністю заповнені внутрішніми відвалами вище рівня затоплення. Залишкові виробки розділені дамбою, відгороджена частина використовувалася як хвостосховище (рис. 2.9). Після затоплення тут утворився каскад із трьох озер.

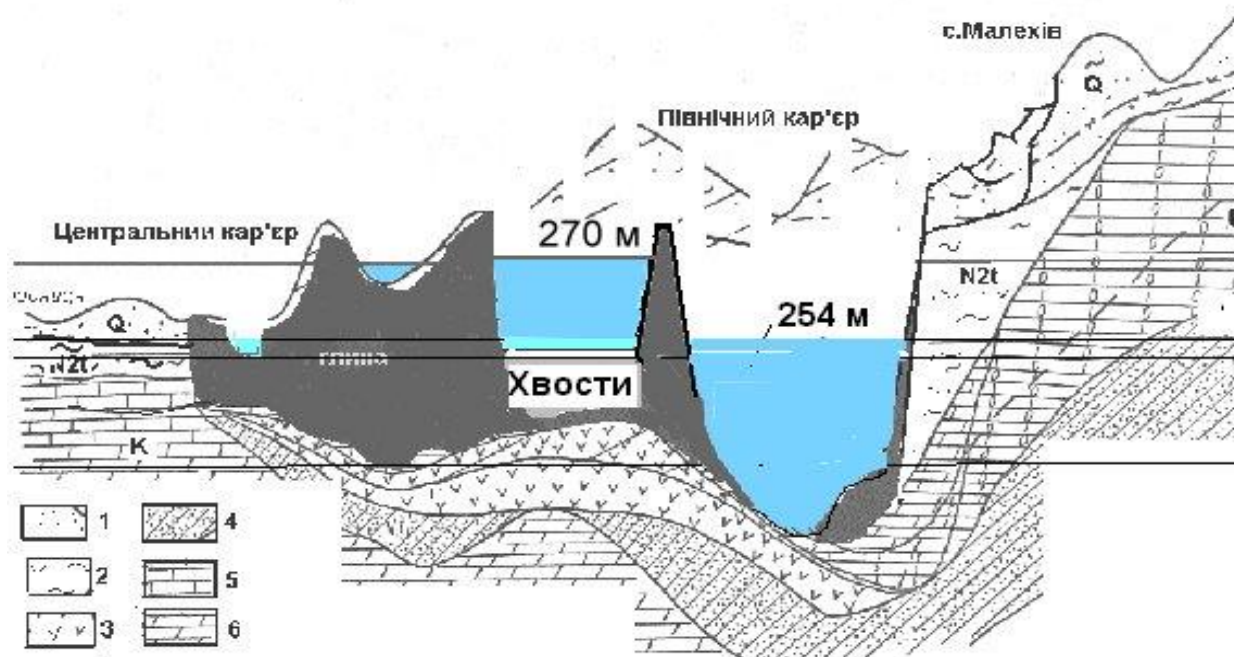


Рис. 2.9. Геологічний розріз через озера в Роздільському кар'єрі. 1 – суглинки, 2 – глина і мергель, 3 – гіпсоангідрит, 4 – пісковик, 5 – вапняк, 6 – мергель

В Подорожненському сірчаному кар'єрі верхівка внутрішнього відвалу виступає з води на 15 – 20 м і утворює півострів (рис. 2.10). Подібну форму має і Домбровський кар'єр з видобутку калійної руди, але там верхівка внутрішнього відвалу знаходиться на 25 м нижче рівня затоплення.

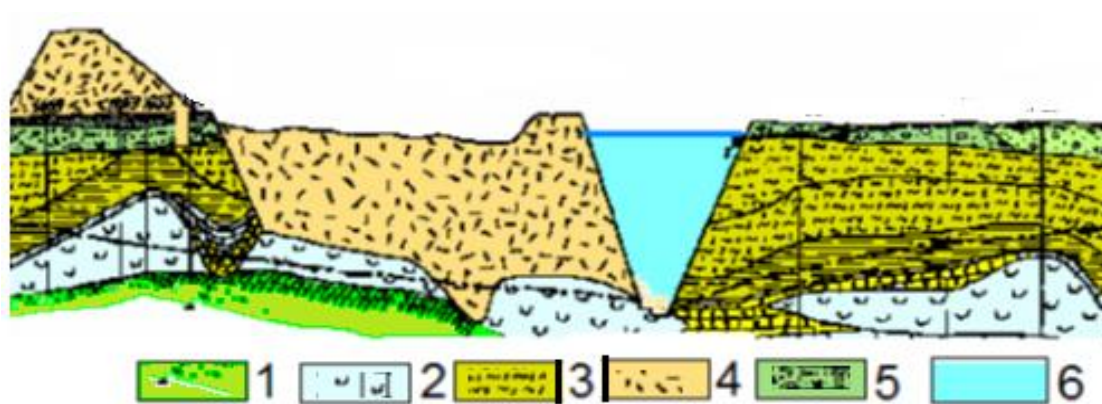


Рис. 2.10. Схематичний геологічний розріз вхрест простягання Подорожненського сірчаного кар'єру. 1 – пісковики, 2 – гіпсоангідрити, 3 – мергель, глина, 4 – техногенні утворення (відвали), 5 – гальковики і суглинки, 6 – вода



**Буровугільні розрізи.** Субгоризонтальним заляганням характеризуються також родовища бурого вугілля Дніпровського буровугільного району, приурочені до депресій Українського щита. Пласти бурого вугілля товщиною до 3 – 4 м залягають на глибині 30 – 80 м під потужною товщею водоносних осадових порід морського генезису.

Буровугільні кар'єри називають розрізами. Форму виробок розрізу ілюструє рис. 2.11, де на передньому плані видно напівзатоплену видобувну траншею, ліворуч – виїзну траншею, а на задньому плані – внутрішній відвал. Розкриті породи транспортували у відвал за допомогою відвально-транспортного мосту. Кут нахилу корінного берега становить близько  $30^\circ$ , а відвалу –  $25^\circ$ . Після затоплення вугільного розрізу утворюються вузькі довгі озера.



Рис. 2.11. Морозівський буровугільний розріз. Затоплена видобувна траншея, на задньому плані – внутрішній відвал

**Кар'єри скельних будівельних матеріалів** (мармур, вапняк, гіпс, пісковик, крейда) зазвичай мають невелику глибину і малу потужність покривних порід. Найбільш цінними є родовища магматичних порід, різновидами яких є граніти, лабрадорити, діабазити, гнейси, кварцити. Основний район розташування вивержених і метаморфічних порід – Український кристалічний щит. На його площі, яка складає більше 100 тис. км<sup>2</sup>, поширені різні вулканічні та метаморфічні породи. Їх вихід на поверхню найчастіше спостерігається на схилах долин рік, у ярах і балках, в окремих рівнинних місцевостях. Тому в них товщина розкритих порід мала, а об'єм внутрішніх відвалів незначний. Внаслідок великої міцності порід кар'єри мають вертикальні уступи, які формуються шляхом вибухів або випилювання блоків породи (рис. 2.8). Загальний кут нахилу бортів може досягати  $70^\circ$ . Борти таких кар'єрів – береги майбутніх озер – залишаються стійкими і мало змінюються з часом.





Рис. 2.12. Гранітний кар'єр з вертикальними бортами

**Залізородні кар'єри.** Іншу форму мають кар'єри у випадку, коли рудне тіло залягає під крутим кутом або вертикально. До цього типу відносяться залізородні кар'єри Кривбасу, які мають форму східчастої призми або лійки. Верхня частина бортів складена осадовими породами, глибше – породами різного ступеня літифікації та метаморфізації. Борти являють собою чергування відкосів висотою 10 – 20 м, нахилених під кутом до  $70^\circ$ , і горизонтальних берм шириною 15 – 25 м. Генеральний нахил бортів визначається стійкістю вмещаючих порід та технологією транспортування і зазвичай становить  $50 - 60^\circ$ . В таких кар'єрах немає місця для внутрішніх відвалів. Прикладом може служити Першотравневий кар'єр у Кривому Розі (рис. 2.13). Він має довжину 3600 м, ширину – 3150 м, глибину – 500 м.



Рис. 2.13. Першотравневий залізородний кар'єр

Кар'єри для розробки вертикально залягаючих рудних покладів є найглибшими: Аітік у Швеції має довжину 3 км і глибину 525 м. Міднорудні кар'єри Чучикала і Ескондіда в Чілі найглибші у світі – 850 м.

**Висновки до розділу 2.** Отже, з точки зору морфології улоговин майбутніх озер можна виділити чотири основних типи кар'єрних виробок (рис. 2.14): А – в осадових породах з виступаючими вище рівня води внутрішніми відвалами, Б – те саме з зануреними відвалами, В – у масивах скельних порід, Г – у скельних і напівскельних магматичних та метаморфічних породах з крутонахиленим або вертикальним рудним покладом.

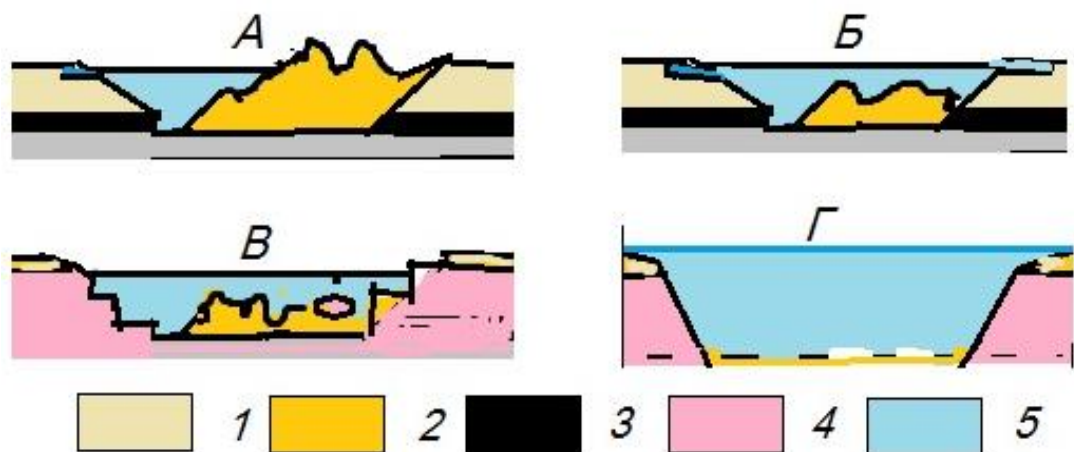


Рис. 2.14. Основні форми улоговин кар'єрних озер. А – в осадових породах з внутрішніми відвалами вище рівня води, Б – те саме з відвалами нижче рівня, В – в масивах скельних порід, Г – при крутому падінні рудного покладу. 1 – м'які і напівскельні осадові породи, 2 – внутрішні відвали, 3 – рудний поклад, 4 – скельні породи, 5 – вода

### 3. Процеси затоплення кар'єрів

*Затопим мы карьеры скоро  
И возродим ландшафт опять,  
И будут чистые озёра  
Потомкам нас напоминать*

Оскільки днища більшості кар'єрів знаходяться нижче рівня підземних вод, після припинення водовідливу здійснюється заповнення виробок кар'єру ґрунтовими і поверхневими водами. Затоплення може бути довільним (самопливним) або керованим. Основними чинниками, від яких залежить динаміка самозатоплення, є кліматичні умови та наявність розкритих горизонтів підземних вод. Самозатоплення кар'єрів зазвичай триває роками. Наприклад, за розрахунками кар'єр Аітік (Швеція) буде заповнюватися водою 55 років. Для самозатоплення майбутнього Стремигородського кар'єру глибиною 500 м знадобиться 300 років.

В період затоплення кар'єрних виробок господарське використання озера практично неможливе, оскільки рівень води не є постійним і це призводить до руйнівних процесів на берегах водойми. Тому з господарської точки зору доцільнішим є швидке кероване затоплення, можливість і вартість якого залежить від близькості та гіпсометричного положення постійних водотоків, які використовуються як джерела наповнення виробок.

Швидке затоплення дозволяє забезпечити високу якість води та прискорити освоєння озера і прибережної території в суспільному господарстві. Сценарій затоплення включає виведення гірничої техніки, припинення роботи і демонтаж насосів водовідливу, ліквідацію нагорних каналів, будівництво каналів для самопливної подачі води в кар'єр із місцевої гідрографічної мережі.

З точки зору керованого затоплення доцільно розрізняти три типи гідрологічних умов: 1) виробка в долині великої ріки, 2) виробка в долині малої ріки, 3) виробка на вододілі. До першого типу відноситься наприклад кар'єр Махув в Польщі, який знаходиться на відстані 800 м від ріки Вісла. Тут ресурси води для затоплення кар'єру необмежені. До другого типу відносяться сірчані кар'єри Львівщини, які знаходяться в долинах малих річок, величина стоку яких обмежена.

В умовах третього типу заходиться Стремигородський кар'єр, що проектується. Відмітка поверхні на вододілі дорівнює 191 – 194 м над рівнем моря. Для перетворення кар'єру в озеро необхідно заповнити водою виробки об'ємом 75 млн м<sup>3</sup>. Річка Ірша протікає на відстані 10 км від родовища. Абсолютна відмітка рівня води – 156 м. Якщо прийняти відмітку рівня води в майбутньому озері за 190 м, різниця рівнів становить 34 м. Самопливне затоплення виробки річковими водами неможливе, оскільки борти кар'єру знаходяться вище джерела живлення. Примусове затоплення шляхом подачі води водогоном потребує великих витрат енергії.

Прогнозування динаміки затоплення кар'єрних виробок спирається на дані багаторічних спостережень за опадами, випаровуванням, стоком річок, а та-



кож на результати гідрогеологічних досліджень в період експлуатації кар'єрів. Завдання із заповнення кар'єрної виробки підземними і поверхневими водами вперше розглянуто авторами у 1996 році [8]. Запропонована методика розрахунку динаміки затоплення із застосуванням дискретної цифрової моделі. Показано, що приплив підземних вод зменшується в міру підняття рівня води озера.

В 1998 р. опублікована стаття Б. Бохнера [34] зі співавторами, де подібне завдання вирішене із застосуванням цифрових комп'ютерних моделей для майбутнього озера Мерзербург-Ост в Німеччині. Особливістю гідрогеологічних умов району є наявність горизонту солоних підземних вод, що призвело до стратифікації водної товщі з утворенням на глибині шару солоної води (монілімніону). Для прогнозу хімічного складу води і стратифікації водної товщі модель геофільтрації була об'єднана з гідрохімічною.

Крім динаміки затоплення, автори оцінили роль різних факторів у перемішуванні води. Зокрема оцінено значення хвильового перемішування, що залежить від вітру, впливу дифузії хімічних елементів і тепла. Встановлено, що головною причиною стратифікації є висока мінералізація підземних вод. Роль дифузії у перемішуванні незначна. Оцінку вітрового перемішування утруднено внаслідок відсутності методів прогнозу сили вітру. Показано, що у випадку екстремального вітру швидкістю 25 м/с глибина зони перемішування складає від 10 до 20 м.

**Самозатоплення виробок.** Прикладом розрахунку самозатоплення кар'єрів може служити завдання, що розглядалося М. Мплет та А. Джонстоном [57] для вугільних кар'єрів родовищ Вотерберг, Найвельд у Південній Африці. Моделі водного балансу розроблені з використанням програмного продукту версії Goldsim Academic. Місцевість характеризується перевищенням випаровування (1950 мм/рік) над опадами (438 мм/рік). Опади розглядали як стохастичний елемент, за мокрим і сухим сценаріями. Приплив підземних вод визначали за відомою формулою Дюпюї, не враховуючи зміну припливу із підняттям рівня води.

Розрахункова крива підняття рівня являє собою параболу. Розбіжність між розрахунковими і фактичними показниками на початку досягала 24 %, але з часом зменшилася. Коефіцієнт кореляції між модельними і наявними даними становив 98 %. У результаті розрахунків встановлено, що частка підземних вод у затопленні складає 90 %, опадів – 8 %, поверхневого стоку – 2 %. Через негативний водний баланс озеро є безстічними, ризик переповнення існує тільки в разі екстремальних погодних умов.

Для кращого розуміння методики розглянемо декілька простих схем розрахунку. Особливість завдання полягає в тому, що кількість припливу атмосферних вод залежить від площі виробки по верхньому контуру і залишається умовно постійною в часі, тоді як кількість води, що випаровується, збільшується з часом в міру зростання площі водного дзеркала.

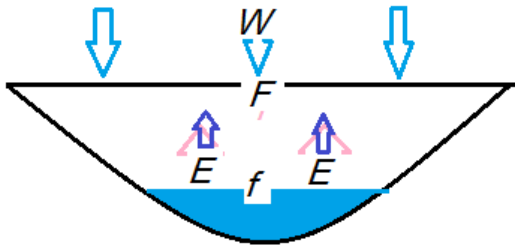


Рис. 3.1. Схема водного балансу при відсутності припливу підземних вод

Найпростішим випадком є затоплення виробки тільки атмосферними опадами, коли немає припливу поверхневих і підземних вод (рис. 3.1). Баланс води визначається відношенням опадів до випаровування. На початку затоплення площа водної поверхні мала, об'єм атмосферних вод більший за випаровування. З часом в міру збільшення площі водної поверхні кількість випарованої води наближається до кількості опадів і настає рівновага. Оскільки форма виробки подібна на чашу, приплив атмосферних опадів  $V_a$  дорівнює добутку:

$$V_a = W * F * t, \text{ м}^3,$$

де  $F$  – площа виробки по верхньому контуру,  $\text{м}^2$ ,  $W$  – опади,  $\text{м}/\text{рік}$ ,  $t$  – час, роки.

Витрата води на випаровування:

$$V_e = E * f * t, \text{ м}^3,$$

де  $E$  – випаровування,  $\text{м}/\text{рік}$ ,  $f$  – площа водної поверхні озера  $\text{м}^2$ .

У випадку, коли опади більші за випаровування,  $V_a \geq V_e$ ,  $f \rightarrow F$ , виробка повністю заповнюється водою, яка буде витікати із озера постійно з середньою витратою:

$$Q = F * (W - E), \text{ м}^3/\text{рік}.$$

Якщо опади менші за випаровування,  $V_a = V_e$ , утвориться безстічне озеро з площею:

$$f = F * W / E, \text{ м}^2.$$

При надходженні підземних вод із умови балансу площа озера:

$$f = (W * F + Q_n) / E, \text{ м}^2.$$

З цього рівняння видно, що при наявності припливу підземних вод озеро утвориться навіть без опадів, і площа водної поверхні:

$$f = Q_n / E, \text{ м}^2.$$

На практиці озеро ймовірно може пересихати у період найбільшої спеки.

В гумідній зоні, де опади переважають випаровування, виробки переповнюються водою. Без припливу підземних вод надлишок води  $Q$  дорівнює різниці між опадами і випаровуванням, помноженій на площу водозбору. Із озера буде витікати потік з витратою  $Q$ :

$$Q = F * (W - E), \text{ м}^3,$$

де  $F$  – площа водозбору,  $\text{м}^2$ ,  $W$  – опади,  $\text{м}/\text{рік}$ ,  $E$  – випаровування,  $\text{м}/\text{рік}$ .



Наприклад, для умов Львівської області України  $W=0,71$  м/рік,  $E=0,45$  м/рік. При площі кар'єру  $2 \cdot 10^6$  м<sup>2</sup> із нього буде впливати потік з витратою 0,52 млн м<sup>3</sup>/рік, в середньому 1,42 тис. м<sup>3</sup>/добу, 0,016 м<sup>3</sup>/с. Це невелика річка.

**Кероване затоплення** виробок кар'єрів здійснюють для забезпечення бажаної якості озерних вод та попередження небезпечних геодинамічних процесів. Наприклад, при перетворенні в озеро сірчаного кар'єру Махув в Польщі вирішувалися наступні завдання: запобігти наповненню виробки мінералізованими підземними водами, в яких міститься до 400 мг/л сірководню, попередити можливий розмив магістральної автотраси, що пролягає між кар'єром і рікою Віслою, створити умови для рекреаційного використання водойми.

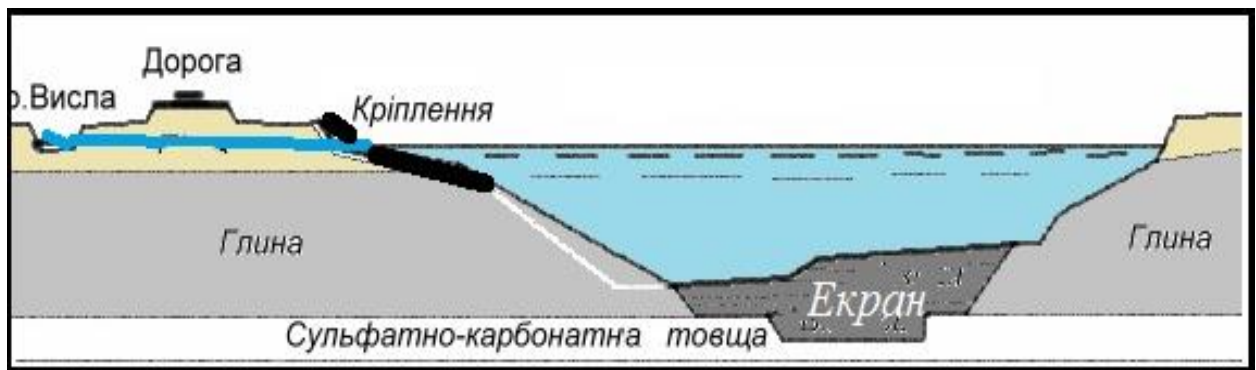


Рис. 3.2. Схема перетворення кар'єру Махув в озеро (Польща)

Для ізолювання водної товщі майбутнього озера від сірководневих вод неогенового водоносного горизонту на дно кар'єру відсипали глиняний екран товщиною 25 м (рис. 3.2). Щоб не допустити випирання екрана напірними водами, продовжували відкачку води неогенового горизонту із системи водопонижуючих свердловин, розташованих навколо кар'єру. Відкачку припинили тільки після заповнення виробки водою до проектного рівня.

Для захисту дороги від можливих зсувів нахил борту кар'єру зі сторони Вісли зменшили до 4 – 5 градусів та облицювали берег бетонними плитами. Для заповнення виробки побудований канал Вісла - озеро. Затоплення кар'єру водою здійснювали періодично в повеневі періоди, коли якість води в Віслі була задовільною. При цьому подача води каналом була набагато більшою за атмосферні опади, тому їх при балансових розрахунках можна було не враховувати. Розпочали подачу води в 2005 році і закінчили в 2008-му.

В скрутних економічних умовах реалізація подібних до польського проєктів на сірчанних кар'єрах України виявилась неможливою. Отже, з метою попередження негативних наслідків були проведені дослідження і розрахунки для оцінки процесів і явищ, пов'язаних із затопленням кар'єра. Першим вирішено завдання розрахунку динаміки затоплення відповідно до послідовності заходів (сценарію).

Яворівський сірчаний кар'єр перетинав річки Шкло, Гноєнець, потічки Руський і Якша. Щоб запобігти затопленню діючого кар'єру річковими водами, була створена складна система примусового водовідведення: річки перегоро-

джені греблями, воду з утворених ставків перепускали трубопроводами та каналами.



Рис. 3.3. Яворівський кар'єр в період затоплення. Острови – внутрішні відвали

**Сценарій затоплення** включав наступні етапи.

1. Призупинення водовідливу: евакуація насосних станцій, демонтаж трубопроводів і ліній електропостачання. Виробка почала заповнюватися за рахунок підземних вод і опадів, що відбуваються безпосередньо на площі кар'єру.

2. Ліквідація нагірних каналів: спрямування стоку води з нагірних каналів у кар'єр. Відтепер у виїмку надходить вода з прилеглої до кар'єру водозбірної площі.

3. Будівництво каналу і водоскидів для подачі в кар'єр води з річки Шкло. Разом з атмосферними опадами виробка заповнюється водою з річки. Стік річки Гноєнець в період затоплення кар'єру використовували для санітарного попуску води в старе річище Шкла нижче озера.

**Рівень затоплення.** Витікання озерної води після заповнення виробки буде проходити в місці, де зовнішній контур кар'єру має найнижчу відмітку. Із знайденого місця витікання проводимо горизонталь вздовж борту кар'єру. Отримуємо початковий контур берегової лінії, який надалі може змінюватися під впливом берегових процесів: зсувів, ерозії, хвильового розмиву. Відмітка рівня затоплення визначається відміткою поверхні за мінусом глибини випускного каналу.

**Розрахунок динаміки затоплення.** Для розрахунку затоплення необхідно оцінити припливи підземних, атмосферних і річкових вод. Приплив підземних вод залежить від рівня води у виїмці і змінюється в часі. Зазвичай є достовірні дані про відкачування води з кар'єру в період його експлуатації. Для визначення співвідношення кількості води з різних водоносних горизонтів можна скористатися гідрохімічними даними. Для цього взяти дані про мінералізацію води в сухий період безпосередньо з джерел в бортах кар'єру і з магістральної труби водовідливу.

Наприклад, якщо водоприплив відбувається з двох горизонтів з мінералізаціями  $C_1$  і  $C_2$ , а на виході з труби отримуємо суміш з мінералізацією  $C$ , то частка води  $\alpha_1$  з мінералізацією  $C_1$  обчислюється за формулою:

$$\alpha_1 = (C_2 - C) / (C_2 - C_1).$$

За показник мінералізації найкраще взяти компонент, вміст якого в водах різних горизонтів відрізняється найбільше.

Далі потрібно з'ясувати окремо для кожного горизонту величину рівня або напору води до початку осушення кар'єру і зниження рівнів води в період експлуатації. В міру затоплення виробки зниження буде зменшуватися і відповідно скорочуватися приплив води. Для розрахунку припливу використовуємо формули М.С. Газізова і В.І. Костенко [1]:

для напірних горизонтів:

$$Q(S) = Q_0 * S / S_0,$$

для безнапірних:

$$Q(S) = Q_0 * S (2h - S) / (2h - S_0) S_0,$$

де  $Q(S)$  – приплив води, що залежить від змінного пониження  $S$ ,  $Q_0$  – приплив води в період експлуатації при пониженні  $S_0$ ,  $h$  – потужність безнапірного водоносного горизонту. Зазвичай безнапірний водоносний горизонт на контурі кар'єру здренований. Тому приплив з нього буде незмінним до того моменту, поки рівень води в озері підніметься до його підшови. Після цього, нехтуючи висотою височування, отримаємо величину, що зменшується в міру затоплення:

$$Q(S) = Q_0 * S (2h - S) / 2h^2.$$

При застосуванні цифрової моделі найпростіше вирішувати задачу методом зміни стаціонарних станів, зважаючи на те, що зміни напорів у водоносних горизонтах проходять швидше, ніж зміни рівня води у кар'єрі. Корисно розділити зону фільтрації на ряд секторів з урахуванням рельєфу підшови водоносного горизонту і конфігурації кар'єру.

**Приплив поверхневих вод.** Кількість води, що стікає з площі, обмеженої нагірними канавами, зазвичай відома. Для її визначення використовують місячний або декадний графік відкачування води в період експлуатації. Стала в часі частина відповідає припливу підземних вод, а коливання витрат обумовлені припливом дощових і талих вод. Можна оцінити останню величину також як добуток площі кар'єру в межах нагірних канав на середньорічну норму опадів і на коефіцієнт стоку. Його приймають для глинистих і скельних порід на рівні 0, – 0,9, а для піщаних – 0,5 – 0,7 [1].

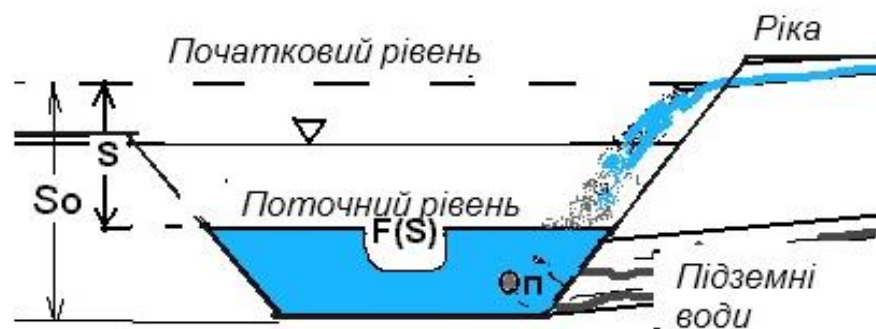


Рис. 3.4. Схема до розрахунку динаміки затоплення кар'єру

Приплив з водозбірної площі за межами нагірних каналів визначається площею водозбору, помноженою на модуль стоку. Величину модуля стоку для даної місцевості слід шукати в гідрографічних довідниках або взяти в місцевому управлінні водного господарства. Так, наприклад, для умов Львівської області модуль стоку дорівнює  $7,3 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$  ( $230\,000 \text{ м}^3/\text{рік} \cdot \text{км}^2$ ).

Приплив з річки, якщо організовано її впадіння в кар'єр, знаходиться за довідниками або ж визначається приблизно за модулем стоку і площею водозбору. Якщо ж вода подається каналом з великої річки, тоді приплив задається проектом, виходячи з бажаного терміну затоплення.

*Балансове рівняння.* Практично у всіх реальних умовах можна вважати, що перерозподіл напорів в водоносних горизонтах відбувається синхронно з підняттям рівня води у виїмці. Це дозволяє застосувати для розрахунку метод зміни стаціонарних станів. Динаміка затоплення визначається шляхом чисельного інтегрування балансового рівняння (рис. 3.4).

$$(Q_n(S) + Q_a + Q_p) * dt = - F(S) * dS,$$

де  $Q_n(S)$  – приплив підземних вод, який зменшується в міру заповнення виробки,  $S$  – змінне зниження, що відраховується від початкового рівня (напору) підземних вод,  $Q_a + Q_p$  – приплив атмосферної (за мінусом випаровування) і річкової води,  $F(S)$  – площа водного дзеркала, яка збільшується з часом в залежності від  $S$ ,  $dt$  – елементарний відрізок часу,  $dS$  – приріст рівня води за відрізок часу  $dt$ .

*Алгоритм розрахунку.* Для вирішення задачі необхідно визначити площі кар'єру в горизонтальних перетинах через кожні кілька метрів. Для цього будемо план кар'єру в горизонталях і визначаємо площі, використовуючи, наприклад, програму «AutoCAD». Вводимо в програму «Microsoft Excell» дані: відмітка і площа зрізів, обсяг виробленого простору між двома зрізами, зниження рівня. За формулами обчислюємо приплив підземної води, що відповідає кожному з інтервалів. Якщо в затопленні беруть участь декілька водоносних горизонтів, то до моменту підняття рівня до підшови кожного з них дебіт останніх вважається постійним. Вводимо приплив поверхневої води, обчислюємо сумарний приплив. Ділимо обсяг кожного інтервалу між двома зрізами на сумарний приплив підземної і поверхневої води і отримуємо тривалість затоплення інтервалу. Закінчуємо розрахунок тоді, коли рівень води досягне позначки рівня затоплення.

Сума відрізків терміну затоплення кожного з інтервалів дорівнює загальній тривалості затоплення виробки. Різниця між об'ємом озера і сумарним припливом поверхневих вод дорівнює об'єму підземних вод.

Якщо рівень води в озері нижче відмітки початкового напору водоносного горизонту, після затоплення виробки підземні води будуть живити озеро з дебітом, що залежать від залишкового зниження. Що стосується ґрунтових вод, то на одних ділянках берега вони можуть притікати в озеро, а на інших витікати з нього. Для прогнозування цих змін корисно опрацювати цифрову модель. З



використанням наведеної методики розраховані графіки затоплення Яворівського, Роздільського і Подорожненського сірчаних кар'єрів.

**Яворівський сірчаний кар'єр.** На рис. 3.5 наведені розрахунковий і фактичний графіки затоплення Яворівського кар'єру.



Рис. 3.5. Розрахунковий і фактичний графік підняття рівня води в Яворівському кар'єрі

Як видно з графіка, результати обчислень дещо розходяться з фактичними даними. У березні 2006 року фактичний рівень перевищив розрахунковий на 5 м. Тривалість затоплення за розрахунком склала 6 років, насправді воно закінчилося за 5 років. Подібні розбіжності отримані і на інших кар'єрах.

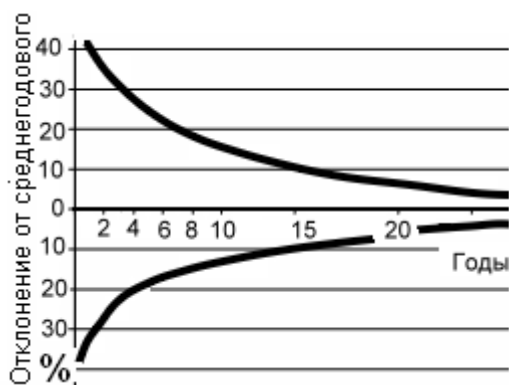


Рис. 3.6. Залежність ймовірного відхилення кількості опадів за період затоплення від середньої багаторічної величини для метеоумов Львівської області.

Першою ймовірною причиною розбіжностей є відхилення фактичних опадів від середньорічних, прийнятих в розрахунках. Так, наприклад, в 2004 році кількість опадів перевищувала середньорічні (719 мм) на 18 %, а в 2005 на 7 %.

При визначенні припливу поверхневих вод в обчисленнях приймаються середні багаторічні значення кількості опадів. Відхилення кількості опадів від середньої багаторічної величини призводить до помилки в розрахунках. Наприклад у Львівській області за останні 50 років кількість опадів мінялась від 447 до 1039 мм. Відхилення від середнього значення складає 44 % в дощові роки і 38 % в засушливі (рис. 3.6). Тому помилка в обчисленнях залежить від терміну заповнення ви-

робки. Чим довше триває затоплення, тим ближча середня кількість опадів за період затоплення до середньої багаторічної величини. Наприклад, при тривалості затоплення 6 років відхилення кількості опадів від середньорічної величини може досягати 25 %.

Настільки ж може відхилитися від обчисленого і тривалість затоплення. Якщо ми отримали розрахунковий термін 6 років, то насправді кар'єр може затоплюватись 4,5 або 7,5 років. Для того, щоб знати можливу помилку, потрібно повторити розрахунок при ймовірних мінімальній і максимальній забезпеченості опадами.

**Уточнення параметрів за результатами моніторингу.** Спостереження за підняттям рівня в озері, що формується, дозволяють визначити об'єм води, що надійшла у виїмку, за графіком його залежності від рівня затоплення (рис. 3.7). За величиною підняття рівня визначаємо об'єм води, що надійшла з вирахуванням випаровування. Порівняння результатів спостережень з прогнозом показало, що фактичний і розрахунковий приплив збіглися тільки в 2003 році. У 2004-му приплив збільшився в порівнянні з розрахунковим на 24 %, тоді як опади перевищили середньорічні на 18 %.

Знаючи водозбірну площу озера, уточнюємо модуль стоку. Для водозбірної площі Яворівського озера модуль стоку за даними Укргідропроєкту змінювався від 4,9 до 10,3 л/с\*км<sup>2</sup>, середня величина (норма) становила 5,5 л/с\*км<sup>2</sup>. Фактично за даними розрахунків модуль стоку складав від 8 до 10 л/с\*км<sup>2</sup>.

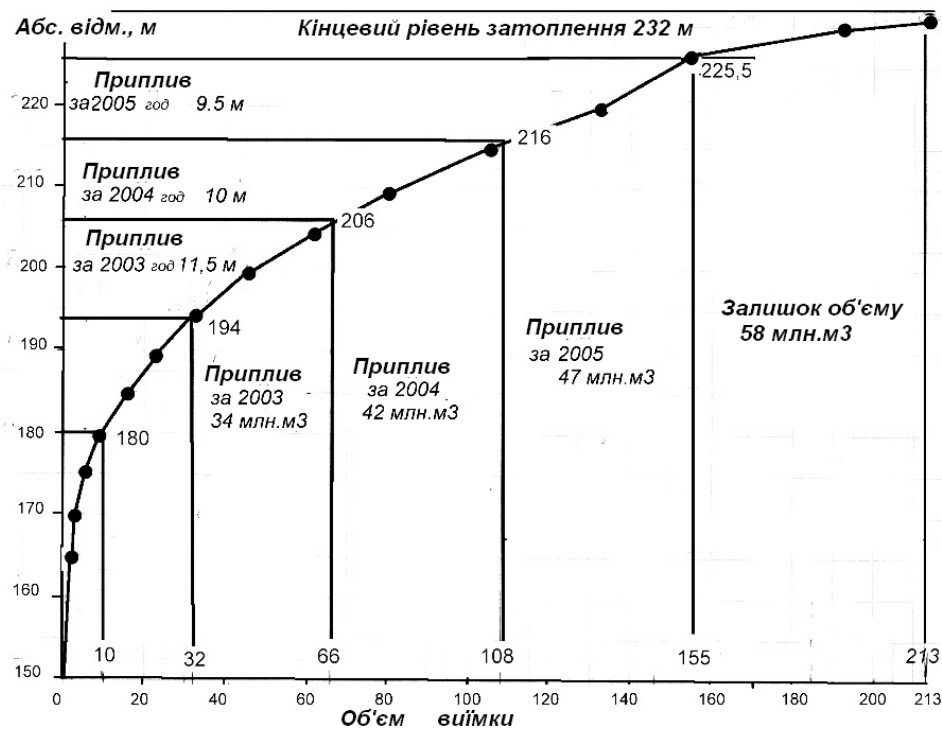


Рис. 3.7. Графік залежності об'єму води від рівня за даними спостережень за підняттям



Рис. 3.8. Озеро Яворівське на місці сірчаного кар'єру

**Подорожненський сірчаний кар'єр** знаходиться в Жидачивському районі на Львівщині. Кар'єр витягнутий з північного заходу на південний схід на 4 км і має ширину 1,8 км. З метою зменшення припливу ґрунтових вод навколо нього споруджена протифільтраційна завіса: викопана і засипана глиною траншея у четвертинних відкладах. Приплив мінералізованих підземних вод був на порядок меншим у порівнянні з Яворівським кар'єром. Тому участь підземних вод у затопленні виробки була незначною.

Осушення кар'єру припинено у вересні 2002 року. До серпня 2004 року виробки заповнювали підземні води й атмосферні опади. Після будівництва впускного каналу затоплення озера продовжувалося водою річки Крехівка.

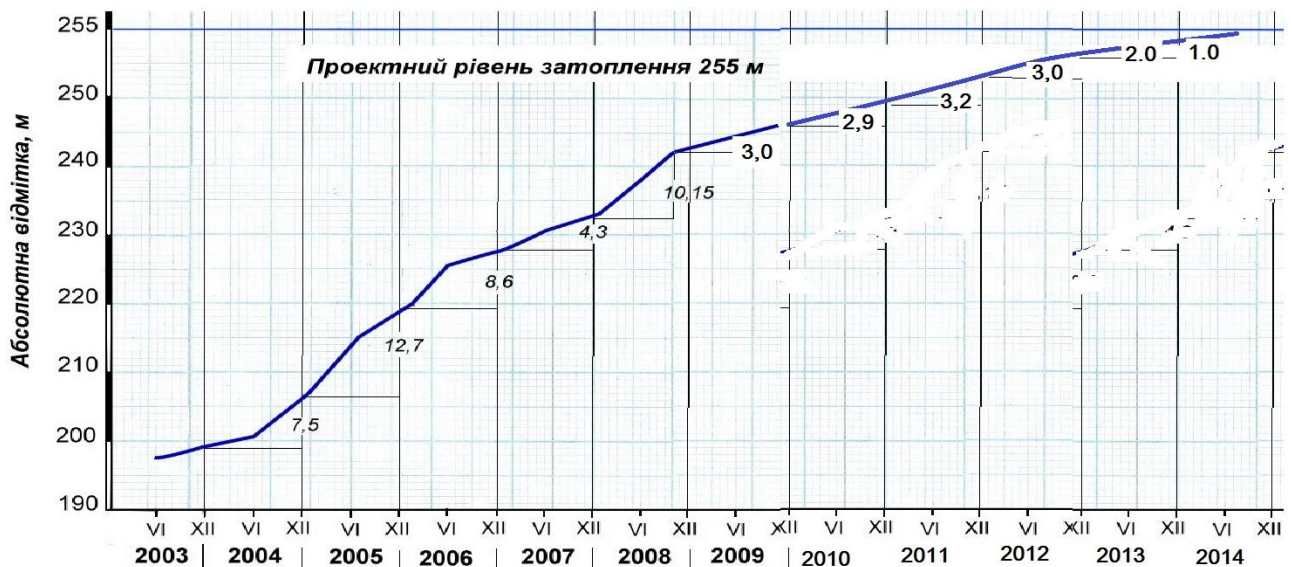


Рис. 3.9. Графік затоплення Подорожненського кар'єру.  
Цифрами вказано підняття рівня за рік в м.

Динаміка затоплення ілюструється графіком (рис. 3.9). До 2008 року швидкість підняття води в озері поступово зменшувалася, що зумовлено зрос-



танням площі водного дзеркала. В 2008 році був введений в дію додатковий канал для пропуску в озеро паводків. Це збіглось з великими повеннями в липні і серпні. До 2008 року в озеро щорічно надходило близько 12 млн м<sup>3</sup> води, а в 2008 приплив досяг 27,4 млн м<sup>3</sup>. Рівень води піднявся на 10 м. У 2012 – 2013 роках швидкість підняття рівня зменшилася внаслідок заповнення горизонту гальковиків, обмеженого протифільтраційною завісою.

Рівень води досяг проектної відмітки 255 м в кінці 2014 року. Сформовано озеро глибиною від 20 до 90 м, площею 480 га, об'ємом 114 млн м<sup>3</sup>. Для забезпечення витікання води із озера побудований канал озеро – ріка Свіча.

**Роздільський сірчаний кар'єр.** Південна і центральна ділянки сірчаного кар'єру повністю заповнені внутрішніми відвалами. Північна поділена дамбами на три частини. Середню деякий час використовували як хвостосховище. В результаті на місці кар'єру створений каскад із трьох озер: Чистого, Середнього і Глибокого. Об'єм Чистого становить 1,5 млн м<sup>3</sup>, Середнього при відмітці рівня 260 м – 2,5 млн м<sup>3</sup>, Глибокого при відмітці рівня 252,44 м – 16 млн м<sup>3</sup>.

Глибина озер Чистого і Середнього сягає 6 – 8 м. Вона є оптимальною для рибної продуктивності. Виробки заповнені атмосферними опадами з площі водозбору, яка дорівнює 6 км<sup>2</sup>. Для забезпечення стоку води із озера побудований канал озеро Глибоке – ріка Дністер.

Заповнення виробки проходило тільки за рахунок атмосферних опадів та припливу підземних вод і продовжувалося 7 років (рис. 3.10), завершилося в грудні 2009 року.



Рис. 3.10. Подорожненський кар'єр на початку затоплення. 2006 р.

У східній ділянці Північного кар'єру – залишковій місткості – утворилося озеро, глибина якого досягає 42 м (абс. відмітка дна – 210 м). Середній приплив води в озера за період затоплення – 2,4 млн м<sup>3</sup>/рік.



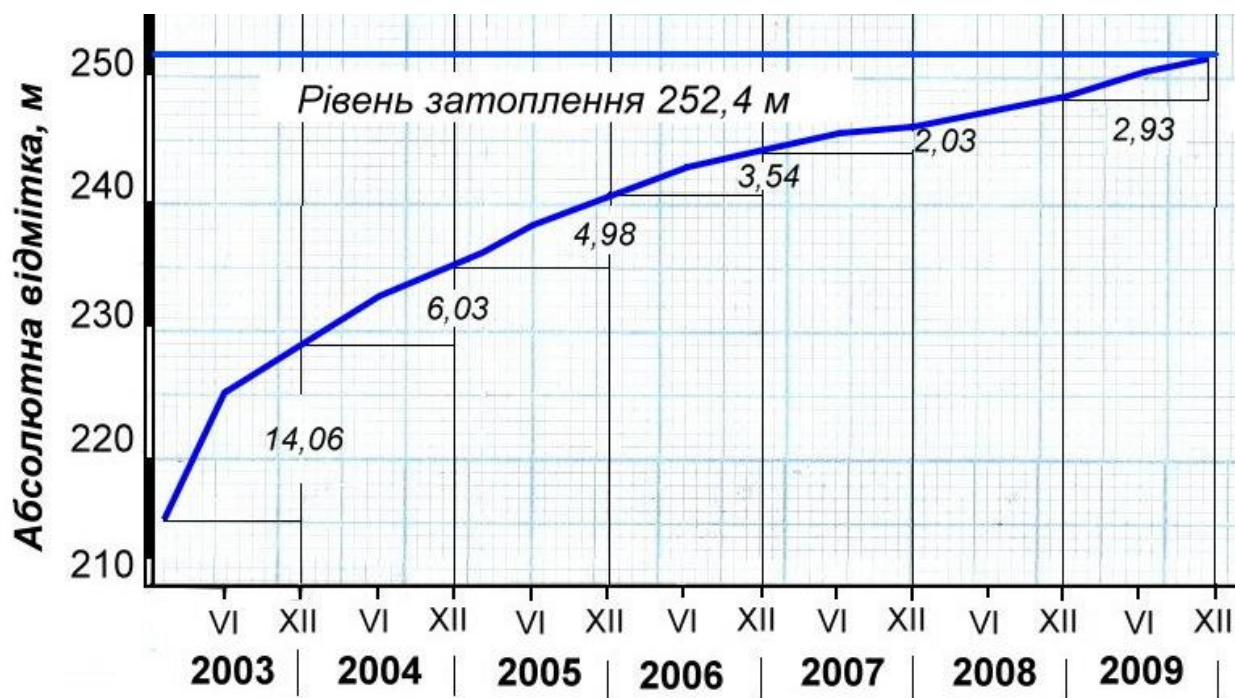


Рис. 3.11. Графік затоплення озера Глибокого. Цифрами вказано щорічне підняття рівня

Залежно від кількості опадів витік із озера Глибокого може коливатися від 2 до 3,2 млн м<sup>3</sup> на рік.



Рис. 3.12. Озеро Глибоке на місці північного сірчаного кар'єру в Новому Роздолі

**Домбровський калійний кар'єр.** Особливістю Домбровської ділянки Калуш-Голинського родовища калійних солей є моноклінальне, майже горизонтальне залягання неогенових відкладів у межах Передкарпатського прогину. Поклади калійної солі залягають на глибині 16 – 20 м від денної поверхні. Завдяки незначній глибині з 1967 по 2005 рр. з великою економічною ефективністю здійснювали виїмку запасів відкритим способом (рис. 3.13).



Рис. 3.13. Домбровський кар'єр до початку затоплення. 2008 р.

В геологічній будові родовища беруть участь неогенові і четвертинні відкладення. На глибині від 16 – 20 до 85 м залягає калієносна нижньобалицька світа, яка виходить під четвертинні відклади. Калійна руда утворює 5 окремих лінзоподібних покладів. Три з них відроблені, залишилася частина першого і третього покладу.

Мінеральний склад калійної руди такий: галіт ( $\text{NaCl}$ ) – 33 %, каїніт ( $\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) – 16 %, лангбейніт ( $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$ ) – 13 %, сильвін ( $\text{KCl}$ ) – 5 %, кізерит ( $\text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) – 7,5 %, полігаліт ( $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) – 6 %, ангідрит ( $\text{CaSO}_4$ ) – 0,2%, нерозчинні домішки, переважно глинисті – 15 – 17 %. Вміщуючі породи представлені соленосними глинами та пісковиками з вмістом кам'яної солі в середньому 45 %.

Над калійними рудами і соленосними пісковиками та глинами залягає кора вивітрювання соленосних порід – глинисто-гіпсова шапка (ГГШ) потужністю від 3 – 4 до 24 м. Поверхня ГГШ глибоко розчленована ерозією і залягає на відмітках 276 – 284 м.

Четвертинні відклади представлені алювіальними гальковиками потужністю 2 – 18 м і лесоподібними суглинками потужністю 2,5 – 6 м. Найбільшою є потужність галькового горизонту в долині річки Сівка, яка перетинала територію кар'єру. Отже, борти кар'єру – береги майбутнього озера – складаються з наступних інженерно-геологічних елементів (знизу вгору, рис. 3.14): 1) калійна руда або соленосні глини та пісковики, 2) глинисто-гіпсова шапка, 3) четвертинні відклади: гальковик і суглинок.



Домбровське озеро формується на місці кар'єру, який має загальний об'єм виробленого простору 52,5 млн м<sup>3</sup>. Проектна відмітка його затоплення – 295 м над рівнем моря, місткість озера до рівня затоплення – 43 млн м<sup>3</sup>.

Навколо кар'єру споруджена дренажна траншея для перехоплення і відкачки ґрунтових вод. На території поширені водоносний горизонт в гальковиках четвертинного віку і розсільний горизонт на контакті солей з глинисто-гіпсовою шапкою. За даними розвідувальних робіт коефіцієнт фільтрації гальковиків складає від 1,2 до 2 м/добу, і тільки в заплавах Сівки та Лімниці досягає 3 – 4 м/добу. Гіпсово-глиняна шапка і соленосні породи водотривкі та безводні.



Рис. 3.14. Північно-західний борт кар'єру в 2006 р. Світлий відтінок – сіль, бурий – четвертинні відкладення: гальковик і суглинок

У період експлуатації за даними ДП «Калійний завод» обсяг відкачки умовно прісної води із дренажних траншей становив від 160 до 245 м<sup>3</sup>/год, в середньому – 1,8 млн м<sup>3</sup>/рік. Безпосередньо в кар'єр надходило в середньому 1,4 млн м<sup>3</sup> води на рік. Отже, загальний приплив води в кар'єр становив 3,2 млн м<sup>3</sup> на рік. На водозбірну площу, яка дорівнює 378 га, надходило в середньому 778 мм/рік опадів, що при коефіцієнті стоку 0,8 дає 2,34 млн м<sup>3</sup>/рік. Різниця між надходженням атмосферних вод і загальним перебуванням (3,2 - 2,34 = 0,86 млн м<sup>3</sup>/рік) відповідає припливу ґрунтових вод із четвертинного водоносного горизонту та розсолу із розсільного горизонту. Проектна відмітка затоплення кар'єру – 295 м над рівнем моря, місткість озера до рівня затоплення – 43 млн м<sup>3</sup>.

За допомогою графіка визначається величина надходження води в кар'єр. Приплив в 2008 році досяг 6,1 млн м<sup>3</sup>, це результат катастрофічної зливи. У наступні роки він складав: 2009-й – 3,4; 2010-й – 3; 2011-й – 2,0; 2012-й – 2,2 млн

м<sup>3</sup>. У період з 2012 до 2018 років, коли рівень води досяг контакту між солоними і покривними породами, приплив води почав зменшуватися, що пов'язано з затопленням дренажних траншей, а також з відновленням запасів розсільного горизонту.

Станом на липень 2019 року рівень розсолів в озері знаходився на відмітці 283,24 м, накопичено 27 млн м<sup>3</sup> води. Середній приплив за 9 останніх років становить 1,55 млн м<sup>3</sup>/рік. Залишилося вільного простору: 43 – 27=16 млн м<sup>3</sup>. При незмінному надходженні час до заповнення виробки становить 10 років. У дійсності цей період може бути довшим, оскільки приплив підземних вод зменшиться, а випаровування збільшиться. Різниця між кількістю опадів і припливом води (2,9 – 1,55) становить 1,35 млн м<sup>3</sup>/рік. Це кількість води, яка втрачається на випаровування – приблизно 46 %. У наступні роки приплив води з четвертинного водоносного горизонту буде зменшуватися внаслідок зменшення різниці напорів між контурами живлення і розвантаження води. Зараз рівень води на контурі живлення (річка Сівка) становить 297 м, потужність водоносного горизонту – 20 м, на контурі розвантаження – відмітка рівня води 283 м, потужність – близько 4 м. Після підняття рівня до проектної відмітки 295 м потужність водоносного горизонту на контурі розвантаження складе 18 м.

Зменшення припливу ґрунтових вод оцінюється за відношенням [1]:

$$Z = (h_1^2 - h_2^2) / (h_1^2 - b^2),$$

де  $h_1$  – потужність водоносного горизонту на контурі живлення, 20 м,  $h_2$  – потужність водоносного горизонту на контурі розвантаження на даний момент, 4 м,  $b^2$  – потужність водоносного горизонту на контурі розвантаження після затоплення кар'єру, 18 м. Підставляючи дані, отримаємо, що  $Z = 5$ . Приплив ґрунтових вод зменшиться в 5 разів, з 0,86 до 0,17 млн м<sup>3</sup>/рік.

Середній приплив води за 9 останніх років дорівнює 1,55 млн м<sup>3</sup>/рік. Внаслідок зменшення різниці рівнів приплив ґрунтових вод зменшиться на 0,6 млн м<sup>3</sup>/рік, а загальний зменшиться до 0,9 млн м<sup>3</sup>/рік. Збільшиться і випаровування внаслідок того, що площа водної поверхні збільшиться, а береги стануть нижчими і менше будуть захищати водну поверхню від вітру. Орієнтовно можна прийняти, що випаровування збільшиться пропорціонально збільшенню площі водної поверхні, приблизно в 1,2 разів.

В результаті розрахунків одержуємо наступний водний баланс озера (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Водний баланс Домбровського озера, млн м<sup>3</sup>/рік

Період	Опади	Випаровування	Приплив атмосферних вод	Приплив ґрунтових вод	Приплив води в озеро
Експлуатація кар'єру	2,94	0,59	2,35	0,86	3,21
Затоплення	2,94	1,35	1,59	0,86	2,45
Після затоплення	2,94	1,62	1,32	0,17	1,49



Фактичний термін заповнення виробки буде залежати від наявності і терміну будівництва впускного і випускного каналів.

**Водний баланс кар'єрних озер** після затоплення. Витратні і прибуткові складові водного балансу кар'єрних виробок після затоплення до максимальної висоти стають відносно стабільними і залежать тільки від сезонних кліматичних змін. Баланс води характеризується наступним рівнянням:

$$(P-E_v) * F_{oz} + (P-E_n) * F_{cb} + (Q_{nodz} + Q_p) * \Delta T = Q_{vut} * \Delta T \pm \Delta S * F_{oz},$$

де  $P$  – опади за розрахунковий період, м;  $E_v$  – випаровування з водної поверхні, м;  $E_n$  – евапотранспірація з площі водозбору, м;  $F_{oz}$  – площа водного дзеркала, м<sup>2</sup>;  $F_{cb}$  – площа водозбору, м<sup>2</sup>;  $Q_{nodz}$  – приплив підземних вод, м<sup>3</sup>/добу;  $Q_p$  – приплив річкових вод,  $\Delta T$  – розрахунковий період, доба;  $Q_{vut}$  – витікання води із озера, м<sup>3</sup>/добу;  $\Delta S$  – величина підняття або пониження рівня води, м.

Елементи водного балансу змінюються з часом у багаторічному і сезонному циклах. Відношення опадів до випаровування характеризується гідротермальним коефіцієнтом – відношенням опадів до випаровування. В останні роки через глобальне потепління на території України вказаний коефіцієнт неухильно зменшується. За даними Інституту водного господарства в 1991 році він дорівнював 1,4, в 2018-му – 1,01, а в 2019-му – 0,95. Наслідком цих змін стало пониження рівнів води, зокрема в Шацьких озерах.

Сезонний хід опадів і випаровування для західних областей України характеризується даними табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Розподілення опадів і випаровування по місяцях року

Місяці	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Сума
Опади, мм	52	53	54	60	75	101	112	95	62	56	57	56	833
Випаровування з води, мм	0	0	0	14	35	63	91	84	86	28	7	0	408
Стік з акваторій	52	53	54	46	40	38	21	11	24	28	50	56	425

Внаслідок переваги опадів над випаровуванням озера на заході України є стічними або проточними. Однак в засушливі роки в при відсутності дощів витікання з озер може припинитися. В цей відрізок часу ложе випускного каналу бурно заростає очеретом. Накопичення органіки призводить до підняття рівня води в озері в дощові періоди, що супроводжується активізацією абразії.

У випадку, якщо впродовж розрахункового періоду опади відсутні, а випаровування мінімальне, рівняння спрощується:

$$(Q_{nodz} + Q_p) * \Delta T = Q_{vut} * \Delta T \pm \Delta S * F_{oz}$$

При наявності вільного витікання та відсутності опадів рівень води залишається практично постійним,  $\Delta S = 0$ , тоді

$$Q_{nodz} + Q_p = Q_{vut}.$$

Це дозволяє в сухий період при низькій температурі (або тоді, коли озеро покрите кригою) провести виміри припливу і витікання річкових вод і за різницею визначити величину підземного живлення озера.

Досвід порівняння прогнозних розрахунків з фактичними даними дозволив дійти висновку, що динаміка затоплення залежить перш за все від метеорологічних умов. Оскільки кількість опадів і температура повітря не можуть бути заздалегідь передбачені, в розрахунок приймаються середні багаторічні дані. Чим більший термін заповнення виробки, тим ближче середні дані до фактичних. Відхилення прогнозних термінів від фактичних становить близько 25 %.

**Висновки до розділу 3.** Коли днище кар'єру знаходиться нижче регіонального рівня підземних вод, виробка заповнюється поверхневими і підземними водами. Затоплення кар'єрів може бути керованим або довільним. Для попередження негативних наслідків та забезпечення раціонального господарського використання новоутворених озер необхідно виконати прогнози динаміки затоплення. Досвід створення озер у колишніх кар'єрах гумідної кліматичної зони показує, що найбільше значення мають атмосферні опади. Оскільки в розрахунки беруться середні дані про опади, точність прогнозних обчислень залежить від терміну затоплення. Приплив підземних вод в міру підняття рівня води зменшується внаслідок зменшення градієнта напору. Площа водного дзеркала збільшується в часі, в той час як приплив підземних вод зменшується, а випаровування зростає, тому графіки підняття рівня мають форму параболи. Після підняття рівня до максимального значення компоненти водного балансу не мають суттєвих відмінностей від показників природних озер. У залежності від кліматичних факторів утворені озера можуть бути безстічними в аридних зонах або стічними та проточними на ділянках з гумідним кліматом.

## 4. Берегові процеси

Борти кар'єрів є неврівноваженими системами. При їх проектуванні вибирають оптимальні параметри бортів, враховуючи, що зниження кута нахилу призводить до зростання об'єму розкриву, а збільшення створює небезпеку зсувів і обвалів. На основі порівняння зрушуючих і утримуючих сил розраховують кути нахилу бортів, які забезпечують їх стійкість на період проведення розкриву і видобувних робіт.

В період затоплення і після нього здійснюється поетапне формування берегів. Найінтенсивніше берегові процеси – обвали і зсуви – проявляються в період затоплення, що пов'язано з нестабільністю напруження в прибережному масиві. Після затоплення інтенсивні деформації здійснюються переважно весною і влітку, тоді як взимку породи промерзають і набувають міцності, а діяльність хвиль припиняється через кригу. Поступово інтенсивність берегових процесів згасає, профіль берега наближається до рівноважного. Розвитку абразії заважає заростання мілини очеретами та осокою.

Кінцевим результатом берегових процесів є утворення вертикального обриву – кліфу, мілководдя (літоралі) і підводного схилу (пелагіалі) (рис.4.1).

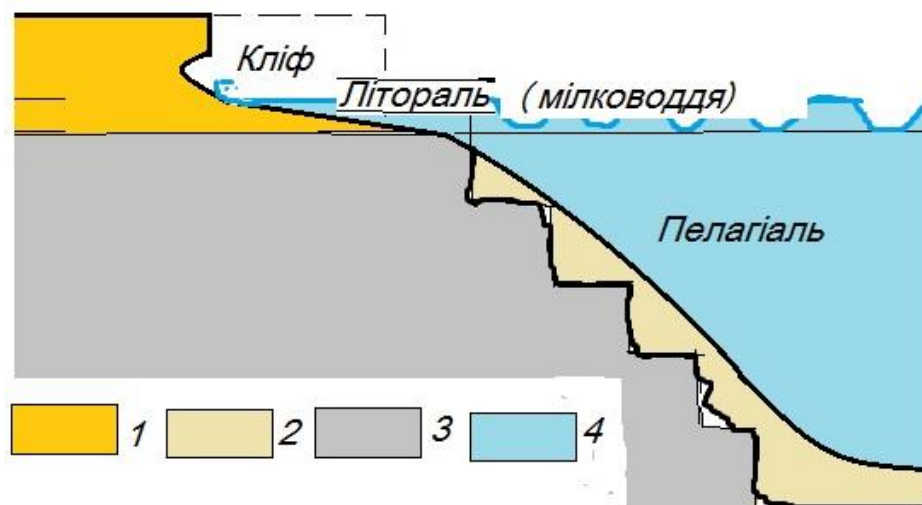


Рис. 4.1. Елементи прибережжя. 1 – четвертинні відклади, 2 – перевідкладені утворення, 3 – корінні породи, 4 – вода

В природних озерах прибережна мілина складається із абразійної і акумулятивної частин. В кар'єрних акумулятивна частина відсутня, оскільки розмитий ґрунт стікає крутим схилом на глибину. Стрімка частина берега – пелагіаль – являє собою борт кар'єру, в якому уступи згладжені внаслідок розмиву і накопичення розмитих ґрунтів на бермах.

**Зсуви.** Зазвичай повністю забезпечити стійкість бортів діючих кар'єрів не вдається, оскільки властивості порід на різних ділянках різняться, і ці відмінності не завжди задалегідь відомі. Тому зсуви і обвали постійно супроводжують розвиток кар'єру. Вони виникають в зонах, ослаблених тектонічними порушеннями, а особливо часто тоді, коли поверхня напластування повернута в бік кар'єру [20]. Крім того, при довгому стоянні



неробочих бортів спостерігається руйнування розкритих поверхонь в результаті вивітрювання та розмиву. Отже, експлуатація кар'єрів супроводжувалася постійною боротьбою із деформаціями бортів.

Зсуви можуть бути також ініційовані навантаженням на поверхню підрізаною схилу. Так, в 1983 році на східному борті Яворівського сірчаного кар'єру організували тимчасовий відвал розкритих мергелів. До початку гірничих робіт тут проходив схил долини річки Шкло, тому підшова четвертинних відкладів нахилена в бік кар'єру. Навантаження призвело до розвитку зсуву четвертинних відкладів разом з тимчасовим відвалом об'ємом близько 0,5 млн м<sup>3</sup>. Зсувними масами був заповнений зумпф кар'єру з насосною станцією.

Подібною була причина зсуву борту кар'єру Пясечно в Польщі, його експлуатація була припинена 1971 року в зв'язку з вичерпанням запасів сірчаної руди. До 1980 р. кар'єр використовували для видобутку піску, придатного для виробництва скла. Відвал піску знаходився на борту кар'єру. В 2011 році проводилися роботи з виположування борту, під відвалом працювали бульдозери. Через підрізання схилу стався зсув об'ємом близько 650 тис. м<sup>3</sup> і площею 6 га. Два бульдозери були засипані та сповзли у воду, загинув працівник.

В роботі [47] наведений приклад зсуву 130 тис. м<sup>3</sup> породи і відходів на березі кар'єрного озера Берклі-Піт в штаті Монтана у вересні 1998 року. Це спричинило повне перемішування раніше стратифікованої водної товщі.

У період затоплення виробок зсуви, що відбулись при експлуатації, тривають. При цьому продукти руйнування розмокають і набувають текучої консистенції, вони вже не підпирають схили, як це повинно бути в сухих умовах. Тому інтенсивність зсувів зростає (рис. 4.2). Як і природні зсуви бортів ініціюються атмосферними опадами.

Вплив підтоплення бортів на їх стійкість вивчений недостатньо. З одного боку намочування призводить до зменшення міцності порід, а підмивання основи схилів збільшує зсувні сили. З іншого боку, зважуючий вплив води та її тиск на поверхню схилів зменшують сили гравітації.

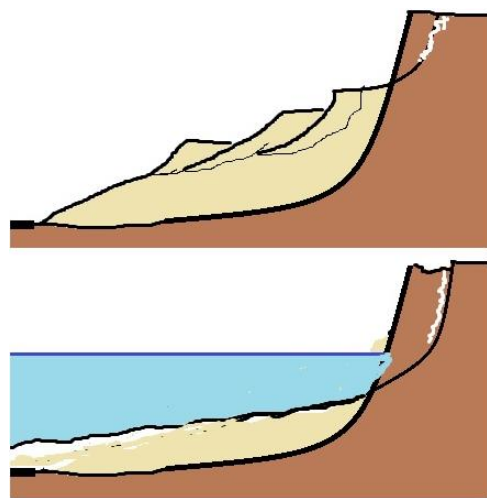


Рис. 4.2. Різниця в механізмах зсуву сухого і підтопленого берега

Подібні задачі розглядалися спеціалістами з гірничої справи [23], а також гідротехніками при розрахунках стійкості гребель водосховищ. Р.Р. Чугаєвим було доведено, що підтоплення схилу найбільш небезпечне тоді, коли рівень води піднімається на  $\frac{1}{4}$  висоти схилу.

Наші спостереження дозволяють припустити, що модель Чугаєва – Мироненка справедлива тільки для проникливих порід, в яких проявляються Архимедові сили. У водотривких монолітних породах тиск води на поверхню відкошу сприяє підвищенню стійкості. Якщо сухий схил у водотривких породах стійкий, він залишиться таким і після затоплення.

Суттєву роль у деформаціях корінних бортів відіграє вивітрювання. Поперемінне зволоження і висихання відкосу супроводжується розтріскуванням та осипанням поверхневого шару. В сухих умовах осип захищає низ схилу від наступного вивітрювання. При підтопленні він розмокає і спливає на глибину, а низ відкосу під дією хвиль інтенсивно розмивається. Уступи кар'єрів руйнуються, утворюються високі субвертикальні обриви. Коли вони підрізаються хвилями, виникають обвали.

При плануванні затоплення кар'єрів перш за все необхідно вирішити, чи варто взагалі боротися з деформаціями бортів, які перетворюються в береги озера, адже із кар'єру вже вивели техніку і людей, яким зсуви могли би загрожувати. Відтепер небезпека загрожує тільки об'єктам, які знаходяться в зонах деформацій на прибережжі. З цих міркувань виходить, що заходи з попередження деформацій доцільно проводити тільки при наявності на майбутньому узбережжі цінних господарських, історичних або природоохоронних об'єктів.



Рис. 4.3. Зсув північного борту Роздільського кар'єру

Наступним актуальним питанням є вибір: чи слід захищати об'єкти від можливих деформацій, або краще винести їх із небезпечної зони? Відповіддю на це питання є порівняння витрат на берегоукріплення із шкодою, пов'язаною з деформаціями берега. Там, де цінних об'єктів немає, розвиток берегових процесів має позитивний характер, а саме: 1) проходить самовиположування берегів, що робить їх менш небезпечними для населення, 2) продукти руйнування бортів ізолюють від водної товщі розчинні породи, які відслонені на днищі кар'єру й у видобувних забоях, 3) ускладнюється і видовжується берегова лінія, що підвищує рекреаційну місткість та естетичні якості узбережжя, 4) не знищується рослинність, яка самотужки виростає негайно після припинення гірничих робіт.

Наприклад, у зонах можливих деформацій на узбережжі новоутворених озер на місці сірчаних кар'єрів були такі об'єкти: 1) старе кладовище колишнього села Вільшаниці на борту Яворівського кар'єру, 2) частина села Малехів в Новому Роздолі, 3) частина села Подорожного на північному борту кар'єру.

Найбільшу турботу викликав зсув північного борту Роздільського кар'єру. Ще в 1980 році гірничі роботи просунулись в зону, де четвертинні відклади залягають на нахиленій у бік кар'єру поверхні глин сарматського ярусу. Тому їх проведення ускладнювалось зсувами. З приближенням до села Малехів зсуви стали загрожувати безпеці мешканців.

Тоді було пораховано, що відробка 426 тис. т руди призведе до збитків у розмірі 2,6 млн радянських руб. Межу відробки родовища переглянули. У 1992 році гірничі роботи припинили. Однак зсуви продовжували розвиватися і 4 домівки було зруйновано.

У роботі Л.П. Марковича [20] вперше встановлено природу зсуву. Показано, що покрівля косівських глин нахилена у бік виробленого простору під кутом до  $15^\circ$ , що разом з підрізкою схилу є головною причиною деформацій. На контакті четвертинних відкладень з підстелюючими глинами кут внутрішнього тертя суглинків зменшується у порівнянні з середніми значеннями з 8 до  $6 - 7^\circ$ , а зчеплення з  $1,5 \text{ т/м}^2$  до 0. Приклад механізму зсуву четвертинних відкладень по нахиленій поверхні неогенових глин наведено на рис. 4.5.



Рис. 4.4. Схема, що пояснює причину і механізм зсуву четвертинних відкладень по нахиленій поверхні неогенових глин. Межа зсуву – вододіл у покрівлі неогенових відкладів

Для попередження негативних наслідків зсуву проведені спеціальні дослідження, в результаті яких визначена межа зсувонебезпечної зони. Зона контакту відрізняється високою електропровідністю і чітко визначена шляхом вертикального електричного зондування (ВЕЗ). Для встановлення кореляційних параметрів пробурено три параметричних свердловини. Буріння показало, що за допомогою ВЕЗ кордони між четвертинними та неогеновими відкладами визначаються достатньо точно. Геоелектричні розрізи використані для побудови



карти стратоізогіпс поверхні неогенових глин та визначення межі зсувонебезпечної зони.

Підтверджено, що зсув являє собою течію четвертинних відкладів по слизькій поверхні неогенових глин. Площа поширення зсувного процесу обмежена вододілом вказаної поверхні. Тут проходить лінія відриву четвертинних відкладів. Це й визначає межу небезпечної зони. Оскільки рівень води в озері знаходиться нижче кінцевого борту кар'єру і краю зсувного тіла, затоплення виробки не вплине на поведінку зсуву четвертинних відкладів.

Надалі була запроєктована і створена система реперів і проведені спостереження за їх зміщенням. Встановлено, що частина реперів, яка знаходиться за межами зсувного тіла, залишалася стабільною. Власне зсувне тіло зміщується в бік кар'єру періодично, після дощів та сніготанення (рис.4.5).



Рис. 4.5. Зсув північного борту Роздільського кар'єру. 2005 р.

У дощові періоди зсуви прискорюються, деколи до 3 – 4 м за добу. Середня швидкість сповзання реперів у верхній частині зсувного тіла досягала 170 мм/місяць, а в нижній до 785 мм/місяць, тобто тіло зсуву знаходиться в розтягнутому стані. Нижня частина зсувного тіла втрачає суцільність і перетворюється в пластичний матеріал, який складається із множини глиб розміром до 1 м. За рік зміщення досягає 10 – 15 м.

З кар'єрних уступів зсувні маси падають окремими глинами і в нижній частині схилу розрихлюються, утворюючи «язики», поверхня яких нахилена під кутом 10 – 12°. В воді зсувні маси розмокають і їх поверхня виположується.

Внаслідок знищення реперів для контролю за розвитком зсуву було прийняте рішення знімати положення ліній відриву зсувного тіла (рис. 4.6). Для цього проходили з приладом GPS по обривах, відмічаючи їх положення через 5 – 10 м. На карту наносили лінії відриву, що дозволяє контролювати процес. Обрив неогенових глин в корінному заляганні залишається стабільним.

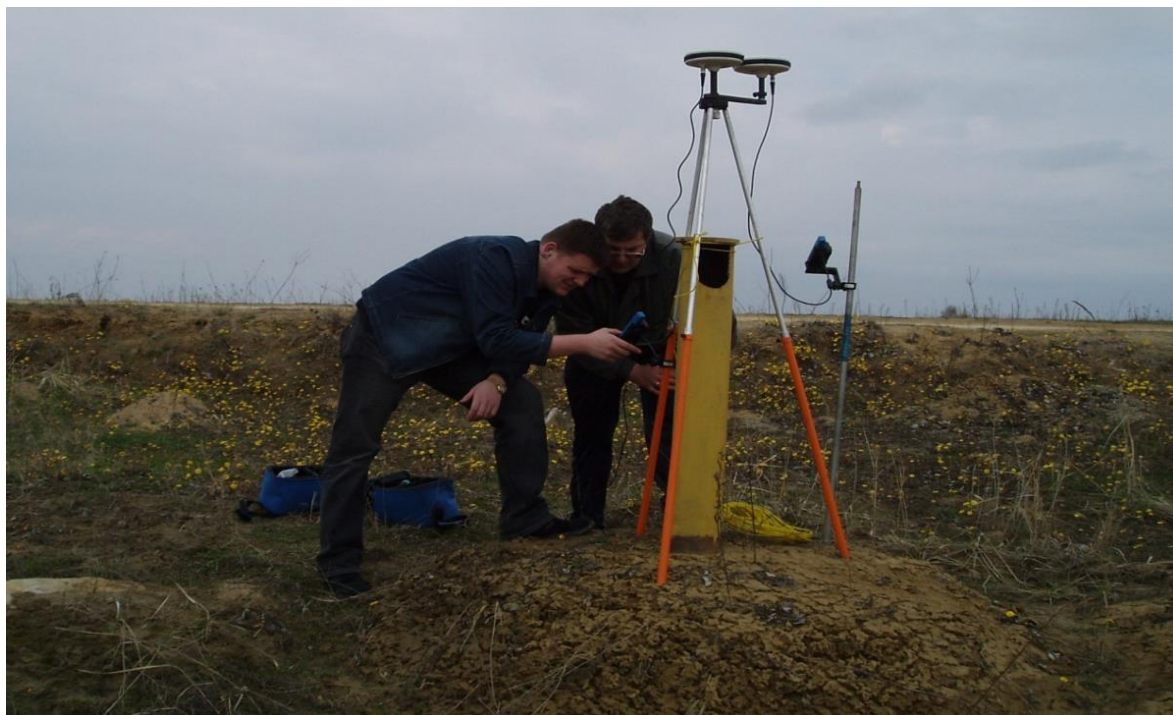


Рис. 4.6. Знімання обривів з застосуванням приладу GPS

Подібний великий зсув на Яворівському кар'єрі спостерігався на північному і західному бортах, де проходить схил долини річки Шкло і контакт неогенових відкладів з четвертинними нахилений в бік кар'єру. Завдяки закріпленню корінням дерев зсув стабілізувався і деформації затухли (рис. 4.7).



Рис. 4.7. Зсув західного берега Яворівського озера



Приклад зсуву на борту кар'єру Мотронівського ГЗК, що утворився на початку 2020 р. наведено на рис. 4.8. Зсув обумовлений двома факторами: слабкими характеристиками міцності м'яких осадових порід і гідродинамічними силами. Вершина зсуву з бровкою зриву уступу знаходиться на гор. +135 м (рис. 4.9)



Рис. 4.8. Зсув на борту кар'єру Мотронівського ГЗК



Рис. 4.9. Вершина зсуву в кар'єрі Мотронівського ГЗК з бровкою зриву уступу



Фронтальний край зсуву зафіксувався близько нижньої брівки укосу на відм. + 105 м перед захисним валом (контрфорсом) з розкривних порід висотою 3 м. Ширина тіла зсуву становить 20 – 30 м. Максимальна глибина зсуву знаходиться в межах 8 – 10 м.

Причина зсуву обумовлена наявністю в масиві слабких глинистих макропористих порід (світло-жовтих лесових і червоно-бурих суглинків), здатних обпливати під дією фільтраційних і гідродинамічних сил.

Грунтові води сприяють інтенсивній фільтрації і замочуванню масиву суглинків. Процес набухання суглинку і збільшення порового тиску інтенсифікує зародження зсувного тіла з подальшою геодинамікою в напрямку виробленого простору кар'єру.

Проведені дослідження фізико-механічних властивостей гірських порід, що складають неробочий борт кар'єру Мотронівського ГЗК дозволили встановити, що для жовто-бурих суглинків при заданому діапазоні вологості  $W = 11 - 29 \%$  значення зчеплення і кута внутрішнього тертя зменшуються в межах  $C = 0,017 \dots 0,073$  МПа і  $\varphi = 14 - 35^\circ$ . Для світло-жовтих лесових суглинків при заданих експериментально значеннях вологості  $W = 9,7 - 35 \%$  значення зчеплення і кута внутрішнього тертя зменшуються в межах  $C = 0,013 - 0,033$  МПа і  $\varphi = 8,5 - 15,4^\circ$ . Фізичні характеристики природних зразків гірських розкривних порід Мотронівсько – Аннівського розсипу наведені в табл. 4.1.

Фізичні характеристики природних зразків гірських розкривних порід  
Мотронівсько – Аннівського розсипу

Таблиця 4.1

Найменування порід	Щільність $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Усереднені значення вологості			Пористість, $n$ , %	Коефіцієнт пористості, $e$ , дол. од.
		природна $W$ , %	на межі розкочування, $W_p$ , %	на межі плинності, $W_m$ , %		
Світло-жовтий лесовий суглинок	1,48-1,65	9,8	19,23	28,35	41	0,69
Жовто-бурий суглинок	1,56-1,7	11,01	21,54	30,79	39,6	0,65

Зсувні процеси на схилах починаються вже при підвищенні вологості до межі розкочування.

У нашому випадку (табл. 4.1) для світло-жовтого лесового суглинку з пористістю 41 % і усередненої вологості ґрунту на межі розкочування  $W_p = 19,23$

% фізико-механічні характеристики будуть наступними: зчеплення - 25 кПа і кут внутрішнього тертя  $\varphi = 13^\circ$ . Для жовто-бурих суглинків з пористістю 39,6 % і усередненої вологістю ґрунту на межі розкочування  $W_p = 21,54$  % фізико-механічні характеристики будуть: зчеплення - 29 кПа і кут внутрішнього тертя  $\varphi = 14^\circ$ .

Для забезпечення стійкого стану укосів і бортів кар'єрів, складених м'якими породами рекомендується значення  $KЗУ = 1,1 - 1,3$ , що відповідає вологонасичення масиву м'яких гірських порід 13 – 18 %.

Встановлені наступні основні закономірності розвитку зсувних процесів: 1) при швидкому затопленні борти, стабільні в сухому стані, залишаються стабільними і після затоплення, активізуються тільки зсуви, які виникли до затоплення; 2) зсуви четвертинних відкладів виникають на бортах колишніх долин річок, підрізаних кар'єрами, межа їх поширення визначається рельєфом підшви четвертинних відкладень; 3) якщо контакт підшви знаходиться вище рівня води, затоплення кар'єру не впливає на розвиток зсуву.

Доведена наявність процесу самоізоляції днища кар'єрів. При куті нахилу бортів більше  $17^\circ$  зсувні маси і продукти розмиву сповзають з підводного схилу на дно і утворюють призми, поверхня яких нахилена під кутом не більше 8 –  $10^\circ$ . Результатом зсувів є ізоляція поверхонь скельних порід розпушеними глинами.

**Обвали.** При затопленні кар'єрів обвали бортів виникають внаслідок їх підрізання хвилями або в результаті розчинення соленосних порід. На Подорожненському кар'єрі обвалювання корінного західного борту спостерігалось в період, коли рівень води знаходився в межах відкладень вербовецького горизонту, представленого вапняковистою глиною з прошарками туфітів і бентонітових глин. Розмокання глини і набухання бентоніту спричиняло появу ніш, над якими нависали вертикальні стіни (рис. 4.10). Уступи кар'єру подвоювалися, внаслідок чого утворювалися вертикальні стіни висотою до 25 м.



Рис. 4.10. Обвалення південного берега Подорожненського озера



Небезпека масштабних руйнувань усунена завдяки швидкому затопленню виробки та укріпленню борту біля села Подорожнє.

Найбільшого масштабу і значення набули обвали при затопленні соленосних порід на бортах Домбровського калійного кар'єру в Калуші (рис. 4.11).



Рис. 4.11. Берег, складений соленосними породами, в період затоплення. Вересень 2010 р.

Для вивчення механізму розчинення бортів проведено фізичне моделювання (рис. 4.12) ділянки кар'єру з вертикальним бортом в масштабі 1:100.



Рис. 4.12. Підрізання і обвалення борту внаслідок розчинення соленосних порід (модель)

Соленосна товща виконана сумішшю глинистого ґрунту з кам'яною сіллю у рівних кількостях. Над нею з глини сформований аналог гіпсово-глинистої шапки і шар роздільно-зернистих четвертинних відкладень. Заповнення «кар'єру» прісною водою робили повільно, тому швидкість підняття рів-



ня була заздалегідь меншою від швидкості розчинення, як це спостерігається в натурі.

Внаслідок розчинення солі на рівні води в соляному обриві утворилася ніша. Її стеліна горизонтальна, відповідає рівню води. Нерозчинний осад падає з покрівлі, утворюючи призму під кутом природного укосу. Розчиняється тільки покрівля ніші. Бокова поверхня ізолюється від води нерозчинним осадом. Коли рівень води наближається до покрівлі солей, залишок соленосної породи над нішею не витримує ваги налягаючих порід і здійснюється обвалення борту.

На основі фізичного моделювання виведені формули для розрахунку глибини ніші (рис. 4.13).

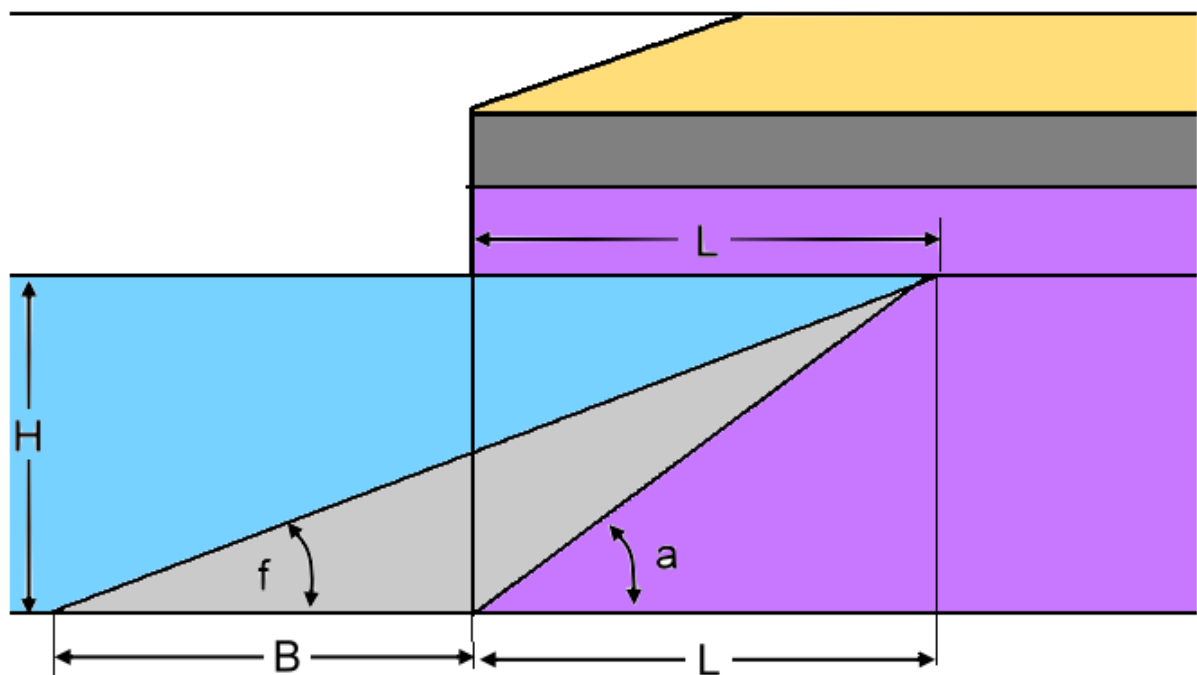


Рис. 4.13. Розрахункова схема для визначення параметрів ніші

При розчиненні вертикальної стінки глибина ніші

$$L = H^* \operatorname{ctg} \varphi / (c+1),$$

де  $H$  – глибина води,  $\varphi$  – кут природного укосу нерозчинного осаду,  $c$  – об'ємний вміст нерозчинного осаду в солях. З цієї формули видно, що глибина ніші тим більша, чим менше в солях нерозчинного осаду. Кут нахилу контакту соленосної породи з нерозчинним осадом визначається відношенням:

$$\operatorname{tg} a = (c+1) / \operatorname{tg} \varphi .$$

У випадку, коли нерозчинного осаду мало,  $c \rightarrow 0$  і  $a \rightarrow \varphi$ , глибина ніші найбільша:

$$L \rightarrow H^* \operatorname{ctg} \varphi .$$

Максимальна глибина ніші при нахиленому під кутом  $b$  борті з малим вмістом нерозчинного осаду визначається з формули:

$$L=H*(ctg \varphi - ctg b).$$

У випадку, коли нахил борту дорівнює куту природного укосу нерозчинного осаду,  $\varphi = b$ ,  $L=0$ , розчинення не спостерігається.

Для оціночних розрахунків глибини ніші, при якій проходить обвалення, застосовані широко відомі методи, розроблені в теорії опору матеріалів. Пласт солі представляється у вигляді консольної балки, яка згинається під власною вагою та під навантаженням і руйнується в найслабшому місці, де спостерігається напруження розтягнення.

Результати оціночних розрахунків показали, що, наприклад, при потужності пласта солі 10 м максимальна глибина ніші становить 6,3 м.

Під час обстеження берегів встановлено, що ніші розчинення утворилися майже по всьому периметру кар'єру, де береги складені соленосними відкладами (рис. 4.14). Товщина шару соленосних порід сягала 26 м. Ніші мали форму трикутника з горизонтальною покрівлею, яка на 3 – 5 см була вище рівня води. Нахил долівки ніш становив від 15 до 30°. Глибина ніш складала від 2 до 5 м. Борти були переважно стійкими.



Рис. 4.14. Ніші розчинення в борту кар'єру

Після того, як рівень води в 2010 році піднявся до відмітки 265 – 267 м, почалося масове інтенсивне обвалювання берегів. Нагромадження соляних скель призвело до утворення підвищень перед нішами. На західному борту берма, що знаходилась на покрівлі пласта глинистої шапки, була зруйнована, почалося осипання четвертинних гальковиків якими засипають нішу (рис. 4.15).



Рис. 4.15. Заростання берегів внаслідок гідроізоляції поверхні соленосних порід продуктами обвалювання нерозчинних утворень

Узагальнена картина розвитку деформацій у часі показана на рис. 4.16.

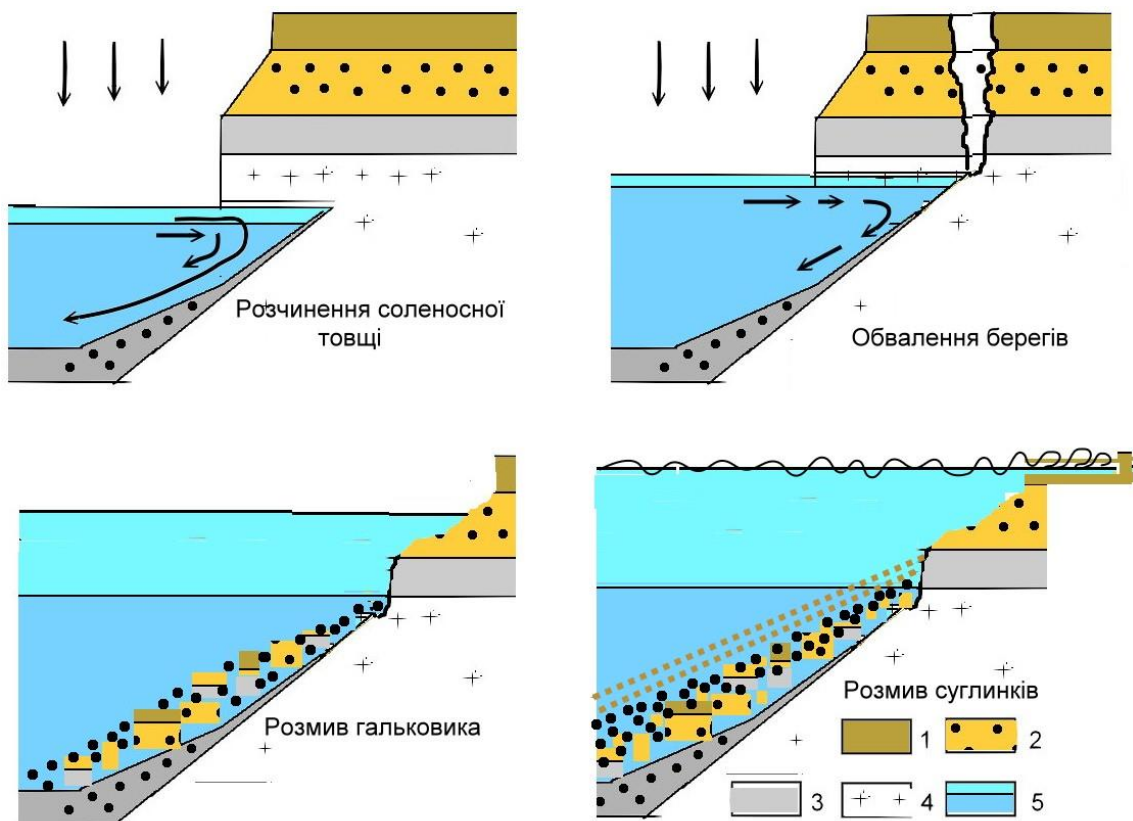


Рис. 4.16. Стадії переробки берега озера. 1 – суглинок, 2 – гальковик, 3 – глинисто-гіпсова шапка, 4 – соленосна товща, 5 – вода.



Обстеження берегів за периметром дозволило виділити їх типи залежно від літологічного складу: в калійній руді, в соленосній брекчії, в глинисто-гіпсовій шапці. За цим показником береги знаходяться на різних стадіях формування. Найглибші ніші і найвищі вертикальні обриви утворюються на ділянках виходів калійної руди, які мають найбільшу міцність.

Нерозчинний залишок і продукти обвалювання покриваючих солі порід накопичуються на схилах і на дні кар'єру, ізолюючи соленосний масив від водної товщі. Результатом є припинення подальшого розчинення солей і накопичення хімічно інертних утворень на схилах і на дні виробки. За результатами вимірів на дні Домбровського озера вже накопичено близько 20 м нерозчинного осаду, який складається з глинистих мінералів з включенням слабо розчинних калійних солей: лангбейніту і кізериту.

На деяких ділянках берега соленосні відкладення повністю перекриті зсувними масами і починають заростати (рис. 4.15). Розчинення солей припиняється, руйнування берегів проходить під дією вивітрювання й абразії.

**Хвильовий розмив (абразія).** За опором до розмиву гірські породи поділяють на такі, що легко розмиваються (пісок, супісок), важко (глина, піщаник на глинистому цементі, мергель) та не розмиваються (магматичні та метаморфічні породи, мармур, вапняк). Часто рівень води в кар'єрних озерах знаходиться в інтервалі легко розмивних четвертинних відкладень. Тоді абразія набуває значних масштабів і може створювати загрозу цінним об'єктам. Наприклад, в Польщі берег озера Махув, вздовж якого проходить автотраса, закріпили бетонними плитами (рис. 4.17).



Рис. 4.17. Укріплення берега озера Махув, Польща

Динаміка розмиву берегів, складених породами, що розмиваються, залежить від їх літологічного складу, швидкості вітру, довжини розгону хвиль, висоти і нахилу берега, наявності рослинності. Особливістю абразії берегів кар'єрних озер є нестабільність рівня води в період затоплення. У абразійному формуванні берегів розрізняються три періоди: затоплення, первинне розмивання, стабілізація.



Хвильове розмивання берегів сірчаних кар'єрів під час затоплення на початку було майже непомітним. Рівень води знаходився нижче контакту неогенових відкладів з четвертинними, вода омивала глину і мергель, які важко розмиваються. Рівень води швидко піднімався, тому удари хвиль припадали весь час на свіжі поверхні та не встигали руйнувати береги (рис. 4.18, 4.19).



Рис. 4.18. Характер кліфу у берега, складеного відвалами

Високі береги захищали водну поверхню від вітру. Його швидкість  $V$  залежить від глибини кар'єру  $H$  і в інтервалі 0 – 100 м описується емпіричною формулою [25]:

$$V = (1 - 0,006 \cdot H) \cdot V_0, \text{ м/с},$$

де  $V_0$  – швидкість вітру на земній поверхні, м/с.

Як видно з цієї формули, борти глибоких кар'єрів є захистом від вітру. Результати спостережень дозволяють встановити наступні основні закономірності розмиву берегів штучних кар'єрних озер. В період затоплення виробок утворюються прибережна мілина і кліф, при цьому нахил мілини до горизонту  $i$  залежить від швидкостей відступання кліфу і швидкості підняття рівня води та визначається відношенням

$$i = V_{\text{затопл.}} / V_{\text{розм.}},$$

де  $V_{\text{затопл.}}$  – швидкість підняття рівня, м/год;  $V_{\text{розм.}}$  – швидкість відступання кліфу, м/год.

Якщо рівень піднімається швидко, ухил наближається до існуючого нахилу борту кар'єру, розмив є незначним. Якщо рівень постійний, розмив призводить до утворення мілини, нахил якої залежить від властивостей породи, що складає берег.

Швидкість відступання кліфу залежить від розмиваємості порід. Зазвичай на глибині породи міцніші, ніж ближче до поверхні. В той самий час завдяки збільшенню площі водного дзеркала та зменшення висоти берегів зростають швидкість вітру і відстань розгону хвиль.



Рис. 4.19. Кліф північного берега Яворівського озера

Швидкість підняття рівня з часом сповільнюється через зростання площі водного дзеркала. Водночас швидкість розмиву зростає, оскільки збільшується висота і розгін хвиль. Тому нахил поверхні зменшується у міру підняття рівня, профіль берега набуває випуклої форми.

Після підняття рівня до кінцевої відмітки розмив берега досягає максимальної інтенсивності, оскільки швидкість вітру, висота і розгін хвиль досягають максимуму. Водночас рівень води контактує з легко розмивними четвертинними породами.

Початкова висота кліфу дорівнює різниці відміток земної поверхні і дзеркала води. Після затоплення внаслідок розмиву формується прибережна мілина.

Ширина і глибина розмиву берега після затоплення визначається за методом Є.Г. Качугіна [17]. За нижню межу зони розмиву приймають мінімальний рівень у період без криги, зменшений на висоту робочої хвилі. Верхню межу визначає положення високого рівня 2 – 4 % забезпеченості та 1/3 висоти робочої хвилі. Остання приймається за 0,7 від максимальної висоти хвиль. Отже, висота мілини дорівнює сумі амплітуди коливань рівня та висоти хвилі. Висота хвиль залежить від швидкості вітру і розгону та може бути визначена за формулою

$$h=0,0208 w^{5/4}*D^{1/3},$$

де  $w$  – швидкість вітру, м /с,  $D$  – розгін хвиль, км.

На території України спостерігається 10 – 25 днів з сильним вітром, який досягає швидкості 20 м/с. Для такого показника рекомендовано визначати висоту хвилі за номограмою А.П. Браславського [18], в якій враховується глибина водойми. Для глибоких, якими є кар'єрні озера, при розгоні 1 км висота хвилі становить 0,8 м, при розгоні 2 км – 1,05 м, при 3 км – 1,25 м.



Знаючи висоту мілини і нахил її поверхні, визначаємо ширину. Нахил залежить від літологічного складу берега і складає для пісків: тонко- і мілкозернистих  $1^\circ$ , середньозернистих  $2^\circ$ , крупнозернистого  $3^\circ$ ; для гальковика  $8 - 10^\circ$ , для глини  $1,5^\circ$ . Наприклад, при розгоні хвиль 2 км і амплітуді коливань рівня 0,1 м, висота мілини становить 1,15 м, а ширина за умови берега з мілкозернистим піском – 67 м.

Масштаб берегових процесів залежить від амплітуди змін рівня води. Цим кар'єрні озера суттєво відрізняються від водосховищ на річках, де рівень води систематично змінюється у зв'язку з режимом роботи гідроелектростанцій або інших гідротехнічних споруд. На відміну від них, суттєві зміни рівня води в кар'єрних озерах тривають тільки в період затоплення. Після цього рівень води стабілізується і спостерігається лише коливання, пов'язані з опадами та вітровим нагоном.

Наші спостереження показали, що амплітуда коливання рівня води в озерах при нерегульованому випуску не перевищує 0,1 м. На Яворівському озері в 2004 році острови були затоплені або розмиті, розгін хвиль досяг 3 км. Підняття рівня уповільнилося через збільшення площі водної поверхні. Рівень води піднявся до алювіальних відкладів, які легко розмиваються. Все це призвело до початку розмивання берегів. На деяких ділянках утворився кліф висотою до 6 м. В грудні 2006 року рівень води досяг кінцевої відмітки і стабілізувався. За рахунок розмиву за 2 роки утворилася мілина шириною 7 – 10 м, а через десять років вона вже становила 17 – 35 м. Нахил мілини дорівнює приблизно  $1,5^\circ$ .

Подальший розмив практично припиняється внаслідок заростання берега і мілини очеретом, який гасить хвилі. Розпочинається період стабілізації. Тільки на ділянках, де купаються люди, рослинність знищується і розмив продовжується (рис. 4.20).



Рис. 4.20. Розмив корінного берега, складеного мергелем



При цьому із супісків тонкі глинисті частинки вимиваються і виносяться хвилями на глибину, тоді як грубші залишаються на місці і утворюють піщане дно, комфортне для відпочивальників.

На ділянках, де рівень води знаходиться нижче контакту корінних порід із четвертинними, формування мілини залежить від наявності включень і прошарків скельних і напівскельних порід. На сірчаних кар'єрах Львівщини вони поширені по всій товщі неогенових глин. Переважно мають потужність 0,1 – 0,15 м. Коли глина розмокає і виноситься водою на глибину, скельні прошарки обвалюються і накопичуються на мілині, утворюючи суцільне покриття літоралі. Так здійснюється захист схилу від подальшого розмиву. Особливо наочно це проявляється при розмиві внутрішніх відвалів, де глина деструктурована і легко розмивається. Ширина мілини при наявності включень скельних порід становить 4 – 5 м.

Там, де береги складені мергелями, що важко розмиваються, хвильовий розмив практично відсутній. Зокрема на Роздільських озерах акваторії захищені від вітру високими берегами, зарослими лісом. Тому корінні уступи кар'єру після затоплення не втрачають стійкості і відступають дуже повільно. В березі утворюється ніша, на нею порода обвалюється (рис. 4.21). Продукти обвалення розмиваються і виносяться хвилями на глибину. Утворюється мілина шириною 1 – 2 м, часто покрита включеннями міцних обломків мергелю.

Процеси вивітрювання призводять до осипання породи з поверхні крутих схилів. Вона розмокає і опускається на глибину. Також спливають на дно виробки і ґрунт, який скидали на уступи при роботах з впорядкування берегів, та зсувні маси четвертинних відкладів.

Інтенсивність розмиву суттєво зменшується при наявності рослинності. Там, де берег підходить до старих дерев, останні закріплюють кліф кореневищами, а після падіння затримують хвилі (рис. 4.19). Крім того, в період стабілізації літораль заростає очеретом, який гасить хвилі та закріплює дно своїм корінням.



Рис. 4.21. Руйнування берегів озера за наявності дерев

**Трансформація підводних схилів.** Після затоплення кар'єрних виробок продукти розмиву і зсувні маси під водою спливають на берми і на дно, що призводить до змін підводного берегового профілю. Для вивчення цього процесу проведено серію вимірів глибин за допомогою ехолоту з GPS- навігатором.

Зйомка підводного схилу виконана в місцях, найбільш перспективних для відпочинку і спорту. Відстань між профілями складала від 50 – 100 м до 300 – 400 м. За результатами побудовані профілі берега у порівнянні з колишніми бортами кар'єрів. Визначені ділянки денудації та акумулювання сучасних відкладів.

Розглядалися наступні питання: 1) ширина і форма мілини, утвореної при хвильовому розмиві берегів; 2) величина нахилу, при якому зсувні маси не затримуються на бортах, а сповзають на глибину.

Профіль Яворівського озера, де берег складений алювіальними супісками, показаний на рис. 4.22. Мілина має ширину 17 м, нахил близько  $2^\circ$ . Нижче проходить уступ під кутом природного укосу супіщаного ґрунту, який дорівнює  $18^\circ$ . В межах мілини супіщаний ґрунт перемитий. Глинисті частинки винесені на глибину, а дно стало піщаним. Зсувні маси сповзли по борту кар'єру, руйнуючи уступи. Кут, при якому зсувні маси не затримуються на бортах, становить від  $13$  до  $18^\circ$ .

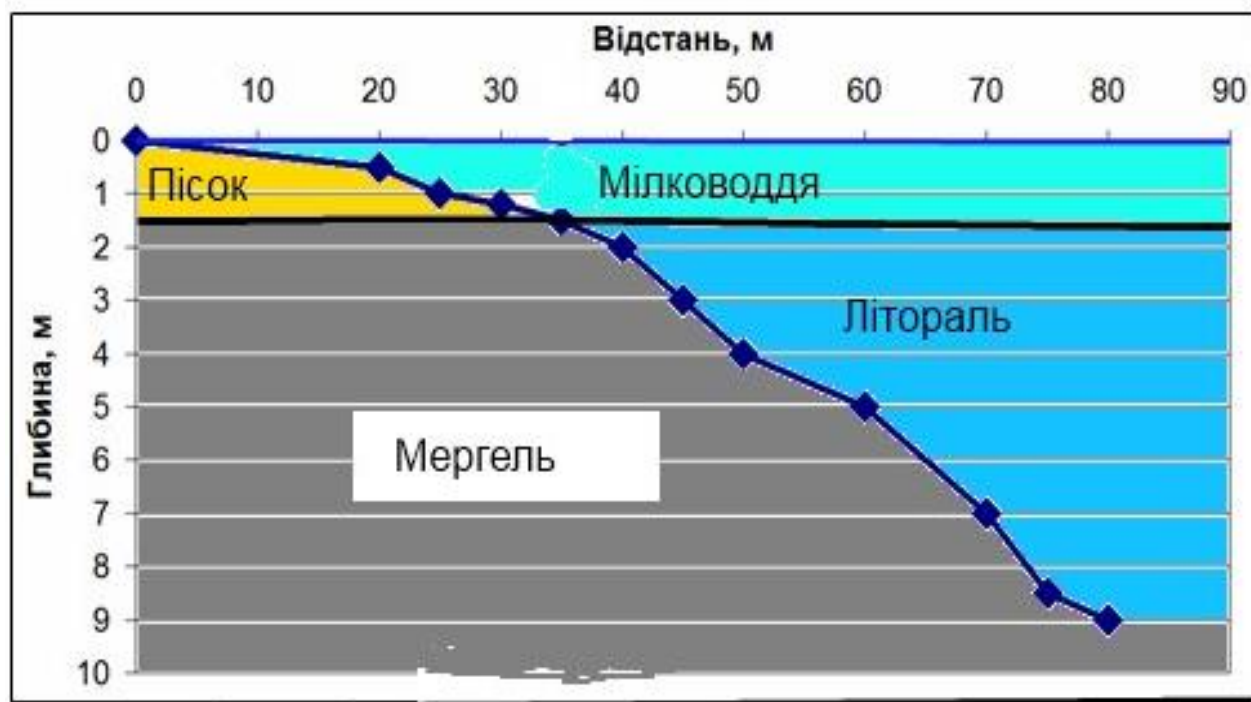


Рис. 4.22. Профіль підводного схилу на північному березі Яворівського озера

На Роздільських і Подорожненському озерах процеси хвильового розмиву незначні, оскільки береги представлені породами, що важко розмиваються. Там, де берегова лінія складена гальковиком, після досягнення ширини мілководдя 10 – 12 м енергія хвиль гаситься і берег стабілізується.

Приклад профілю берега Подорожненського озера показаний на рис. 4.23. Червоною лінією – профіль борту кар'єру до його затоплення, коричневою – профіль підводного схилу.

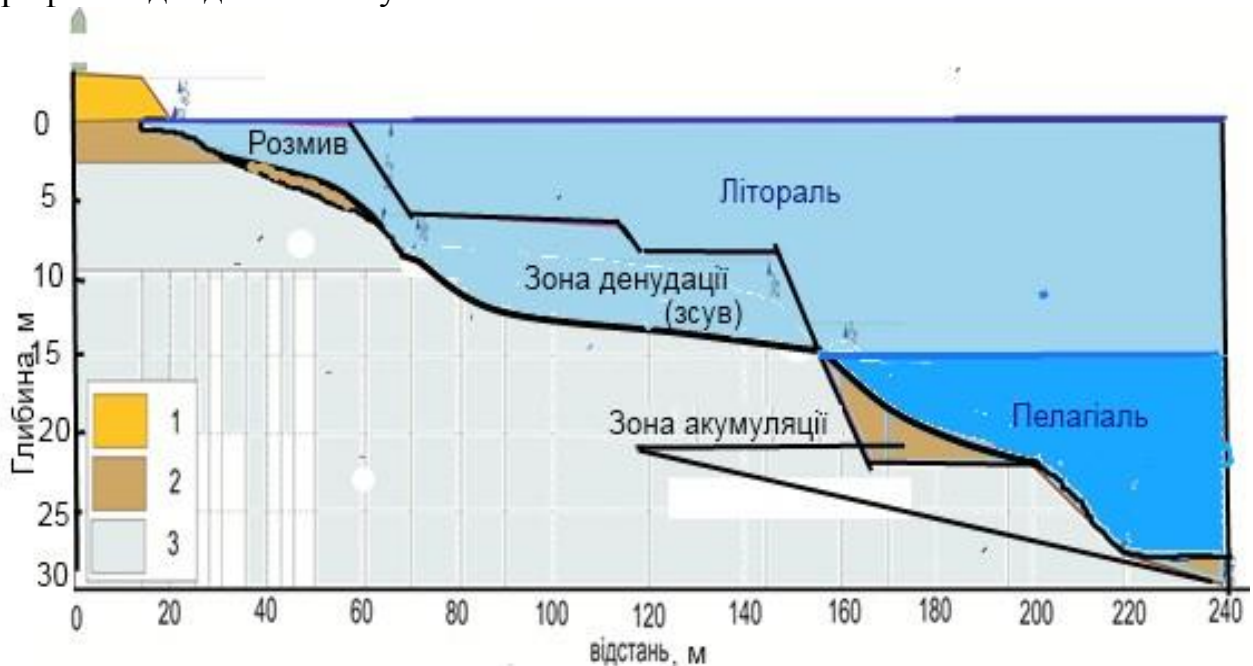


Рис. 4.23. Характерний профіль берегової лінії Подорожненського озера.  
1 – суглинок, 2 – гальковик, 3 – глина.

Як видно на рис. 4.23, підводний схил випуклий. Верхня частина борту сповзла. Зсувні маси частково затрималися на уступі в межах відкладів косівської світи, більша частина сповзла на дно. Кут нахилу площини ковзання в межах сарматських глин становить  $10,2^\circ$  (нахил 0,18). Глибше береговий схил виположується до  $8^\circ$  (нахил 0,14), а потім його нахил поступово збільшується до  $25 - 30^\circ$ .

Проведені дослідження вказують на два механізми виположування берегів озера: приповерхневий і глибинний. Поверхневий полягає в хвильовому розмиві берега (абразії). Цей процес залежить від висоти хвиль і стійкості порід до розмивання. Глибинний зводиться до підводних зсувів на ділянках, де нахил берегового схилу перевищує стійкість порід. Методика прогнозу динаміки підводних зсувних процесів недостатньо розроблена. Оцінити швидкість трансформації підводного схилу можливо тільки за результатами повторних вимірів.

**Ерозія.** При некерованому впадінні в кар'єри потоків з високого борту утворюються глибокі яри. Так, при аварійному прориві води з водосховища Якша в Яворівський кар'єр з'явився яр глибиною 30 м і довжиною 2 км. Надалі його розвиток був припинений шляхом влаштування кам'яної накиді та насадження верби. Після затоплення кар'єру тут утворилася мальовнича затока.

Для попередження ерозії будують спрягаючі споруди: перепади, швидко-токи, консольні скиди, які служать для безпечного переведення потоку з високих відміток на нижчі. Прикладом є канал із швидкоотоком в Польщі на кар'єрі Махув для затоплення останнього водою із р. Вісла. Канал в бетонних берегах до-



вжиною 800 м закінчується швидкотоком, шорсткість якого посилена численними порогами (рис. 4.24).



Рис. 4.24. Швидкотік на впускному каналі в озеро Махув, Польща

Впуск річки Шкло в Яворівське озеро організований по бетонній колишній рудовозній дорозі (рис. 4.25). Для попередження ерозії вдовж неї відсипали призми з кругляка. Це дозволило різко скоротити витрати на будівництво впускного каналу.



Рис. 4.25. Впадіння річки Шкло в Яворівське озеро по колишній дорозі

Розвиток ерозії спостерігався нами на Подорожненському кар'єрі, де був побудований канал і трубопровід для спуску води у виїмку (рис. 4.26). В період катастрофічної повені його зруйновано. Упродовж півроку на місці впускного каналу сформувався яр довжиною 1,2 км (рис. 4.27).

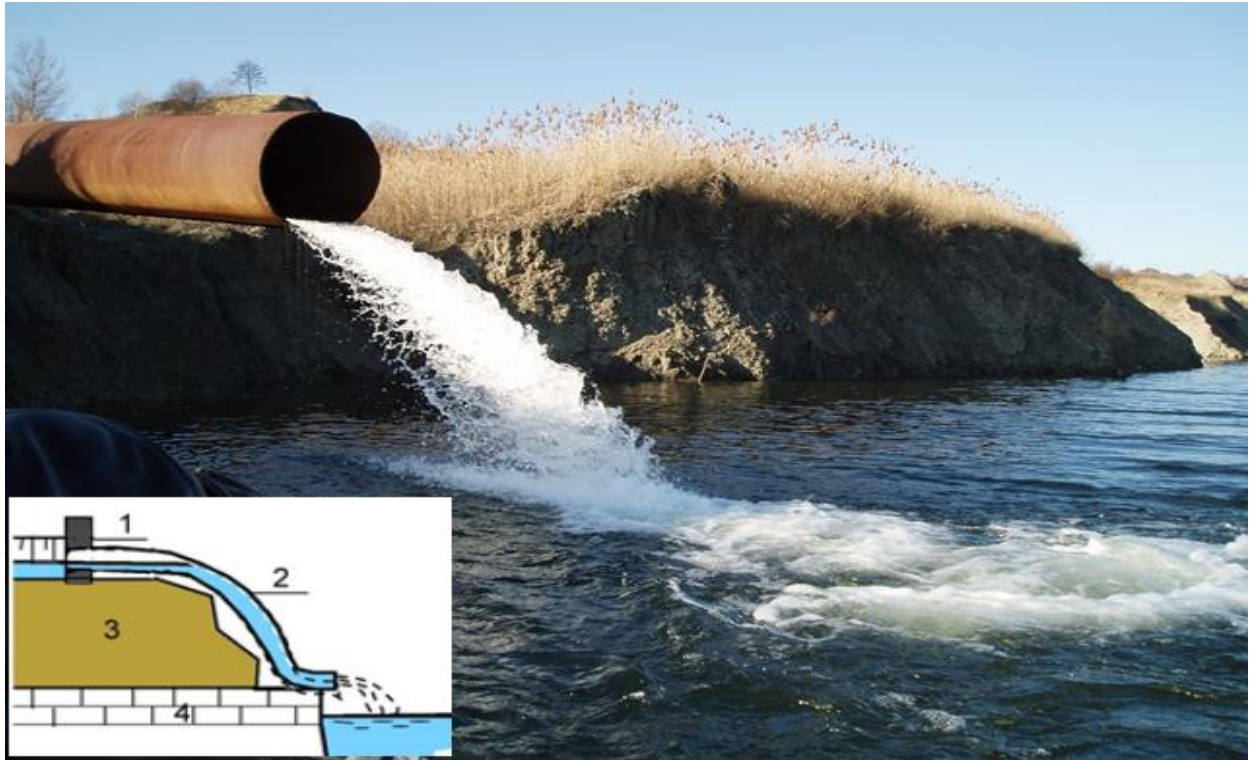


Рис. 4.26. Водогін для спуску води в озеро Подорожненське

В будові яру виділяються: вершина, а також зони донної і бокової ерозії та акумуляції. Вершина яру являє собою водоспад, який переміщається назустріч потоку. Його висота дорівнює товщині четвертинних суглинків, які легко розмиваються.

В зоні донної ерозії русло має V-подібний поперечний профіль. Повздовжній профіль на цій ділянці є параболою, яка з часом переміщається паралельно самій собі слідом за вершиною. Нахил русла і швидкість течії дорівнює критичному значенню, при якому тверді частинки не піднімаються в потоці, а тільки перекочуються.

В зоні бокової ерозії поперечний профіль трапецієподібний, а повздовжній виглядає як чергування плесів і перекатів або порогів. У плані потік набуває звивистої (меандричної) форми.

При впадінні потоку в озеро утворюється зона акумуляції, де внаслідок зменшення швидкості течії відкладаються продукти розмиву, утворюючи конус виносу (дельту).

Оскільки рівень води в кар'єрі піднімається, гирлова частина яру затоплюється, а зона акумуляції переміщається назустріч потоку. У затопленій частині яру розмив не здійснюється, але підтоплені береги обвалюються і сповзають. За півроку вершина яру посунулася на 460 м. Нахил тальвегу в зоні донної ерозії склав 2,4 %, а на ділянці бокової – 0,8 %.





Рис. 4.27. Яр при впадінні річки Крехівка в Подорожненське озеро

Отже, встановлені наступні основні характеристики процесу розвитку лінійної ерозії за умови підняття базису ерозії внаслідок затоплення виробки кар'єру.

1. Просування вершини ерозійного яру не залежить від змін рівня води в озері, а визначається тільки режимом потоку і міцністю порід, які розмиваються.

2. Повздовжній профіль русла вище рівня затоплення пересувається в часі паралельно самому собі із швидкістю, якою рухається вершина яру.

3. Нахил русла в зонах розмиву залежить від міцності порід, що залягають у дніщі яру. Якщо в міру розвитку яр вривається в більш міцні породи, нахил річища збільшується. При наявності скельних порід утворюються пороги, вище яких розмив не поширюється.

4. Зона акумуляції виникає після підняття рівня до дніща яру на впадінні і розповсюджується в верх по потоку відповідно з підняттям рівня води в озері і нахилом русла із швидкістю:

$$v = V/i,$$

де  $V$  – швидкість підняття рівня, м/год,  $i$  – нахил дніща каналу, град.



Отже, динаміка розвитку ярів в умовах підняття базису ерозії відмінна від розвитку природних ярів. Різниця полягає в тому, що утворюється зона акумуляції, яка нарощується в напрямку вершини яру. Після стабілізації рівня води в озері тут утворюється затока.



Рис. 4.28. Ерозія борту після катастрофічної зливи

Виявлені закономірності дозволили оцінити небезпеку лінійної ерозії і скоротити витрати на її попередження. В умовах Подорожненського кар'єру розвиток яру не створював будь-якої небезпеки для людей і майна. Результатом ерозії стало утворення затоки. Це привело до зростання довжини берегової лінії та покращило естетичний вигляд берега. На впадінні річки в озеро утворився конус виносу – літораль, де дно швидко покрито водоростями, створилася кормова база для риб.

При затопленні Домбровського кар'єру лінійна ерозія спостерігалася в місцях витікання води із четвертинних гальковиків, що приурочені до ярів в північному борту, а також до древнього річища Сівки.

На ділянці східного борту, де поверхня солей відслонена внаслідок проведення розкривних робіт, в долині пра-Сівки утворився яр з субвертикальними схилами (рис. 4.29). Яри росли до зовнішнього борту кар'єру, після чого їх вершини були засипані обваленими покривними породами і подальший розвиток припинився.



Рис. 4.29. Формування яру на східному борті Домбровського кар'єру в долині пра-Сівки

Отже, якщо розвиток ярів не несе небезпеки для цінних господарських земель і об'єктів, ерозію доцільно використовувати з метою покращення якості посттехногенного ландшафту. Формування берегів завершується динамічно стійкою береговою лінією, стабільними нахилами профілю берегів.

У проектах перетворення сірчаних кар'єрів в озера були передбачені наступні заходи з попередження негативного впливу берегових процесів. На Яворівському озері в зоні прогнозованої абразії знаходилося старе кладовище. мешканці села, де воно розташовано, були переселені ще до початку гірничих робіт. За проектом також відбулось перенесення останків на цвинтар селища, побудованого для переселенців.

На Подорожненському озері північний берег внаслідок абразії наближався до будинків села Подорожнє. Для попередження надзвичайних ситуацій проектом передбачалось укріплення берега шляхом відсипки призьми з місцевого гальковика. На половині берегової смуги роботи успішно виконані. Подальше берегоукріплення було заблоковано місцевими активістами, що призвело до утворення високого кліфу і руйнування частини садів (рис. 4.30).

Оцінюючі загальні результати досліджень берегових процесів, слід зауважити їх переважно позитивну роль у перетворенні кар'єрних виробок в озера. Обвали і зсуви призводять до ізолювання виходів токсичних порід у бортах і на дні кар'єрів. Хвильовий розмив створює прибережні мілководдя, придатні для відпочинку та для розвитку гідробіонтів. Ерозія ускладнює берегову лінію затоками і мисами, спричиняє появу мілководь за рахунок виносу і відкладення розмитих порід. Тому боротися з береговими процесами доцільно тільки тоді, коли вони несуть безпосередню загрозу цінним об'єктам.





Рис. 4.30. Абразійний обрив на незакріпленій ділянці Подороженського озера

**Висновки до розділу 4.** Борти кар'єрів є неврівноваженими системами і характеризуються наявністю різноманітних деформацій. Заповнення кар'єрів водою призводить до змін напруженого стану гірських масивів, до активізації існуючих і появи нових геодинамічних явищ. Борти кар'єрів – береги майбутніх озер – деформуються внаслідок зсувів, обвалів, абразії (хвильового розмиву), ерозії, вивітрювання. Методи прогнозування берегових процесів розроблені в галузях інженерної геології, гідротехніки, лімнології. Наведені приклади їх успішного застосування у специфічних умовах затоплення кар'єрів виробок.

Встановлено, що в прониклих породах найбільша активізація зсувів спостерігається при підтопленні на 25 % висоти схилу. У монолітних породах затоплення збільшує стійкість схилів. Обвали стаються внаслідок підрізання борти кар'єрів хвилями або утворення ніш в розчинних породах. Розвиток абразії залежить від літологічного складу берега та контролюється його заростанням. Ерозія виникає при нерегульованому прориві води річок у виїмку кар'єру і призводить до утворення ярів, довжина яких залежить від параметрів потоку і літологічного складу ложа. Процеси вивітрювання прискорюють осипання та поверхневий змив на бортах кар'єру. В пухких і напівскельних породах берегові процеси спричиняють до вирівнювання ступінчастих схилів та накопичення продуктів руйнування на бермах та дні кар'єрів.

Наслідки геодинамічних процесів у більшості випадків є позитивними, оскільки вони спричиняють рівновазі у природі і в кінцевому рахунку збільшують безпеку й якість новоутворених водойм. Боротися з береговими процесами доцільно тільки тоді, коли вони несуть безпосередню загрозу цінним об'єктам.



## 5. Морфологічні характеристики кар'єрних озер

*Не знаючи броду  
Не сунься у воду.*  
Приказка

Морфологія озер успадкована від колишніх кар'єрів та відображає зміни, обумовлені геодинамічними береговими процесами. Основною відмінністю кар'єрних озер від природних є велика глибина при малій площі. Характеристикою форми озер служить відношення приведеної ширини до глибини  $z^{\wedge}$ . При цьому ширину  $D$  визначають із відношення:

$$D=2(F/\pi)^{0,5}, \text{ м,}$$

де  $F$  – площа водного дзеркала,  $\text{м}^2$ .

Відносна глибина

$$z^{\wedge} = z/D * 100, \%$$

В природних озерах вона зазвичай становить 2 – 3 %, тоді як у кар'єрних озерах від 5 до 20 %.

**Яворівський кар'єр** майже ізометричний у плані. Його довжина – 4 км, ширина 3 км, площа – водного дзеркала 7  $\text{км}^2$ , розрахунковий об'єм води становить 195 млн  $\text{м}^3$ , довжина берегової лінії – 12 км, найбільша глибина – 80 м. Приведена ширина – 1500 м, відносна глибина – 5,3 %. Кар'єр розвивався в північному та південному напрямках і складався з північної і південної видобувних траншей, сполучених трьома меридіональними рудовозними дорогами, між якими розташовані внутрішні відвали.

Карта глибин озера показана на рис. 5.1.

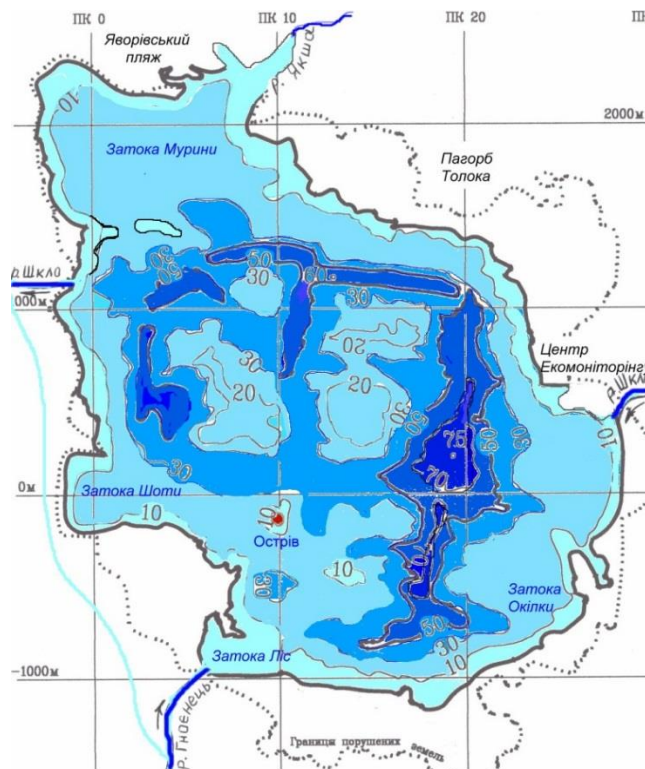


Рис. 5.1. Карта глибин Яворівського озера. Пунктиром показаний зовнішній контур кар'єра.

Найбільшу глибину – близько 80 м – озеро має на місці колишнього водозбірника, розташованого поблизу східного берега. У видобувних траншеях глибина озера – близько 50 м, а на верхівках внутрішніх відвалів від – 2 до 20 м. У південно-західному куті залишився невеликий острів, який поступово зникає внаслідок розмиву.

У північно-західному куті озера знаходиться простора затока Мурина з глибиною близько 20 м, яка утворилася при розмиванні четвертинних відкладень гідромоніторами. Цей берег ускладнює і прикрашає затока Якша, що створилася внаслідок прориву греблі водосховища.

Вздовж північно-східного борту кар'єру до початку гірничих робіт проходила долина річки Шкло, тому береги складені алювіальними пісками і супісками, які легко розмиваються. Тут внаслідок хвильового розмиву утворилася мілководна зона шириною 25 – 30 м. Профіль озера подано на рис. 5.2. Як видно з нього, за глибинами виділяються ділянки, де дно складене відвалами і де вони відсутні.

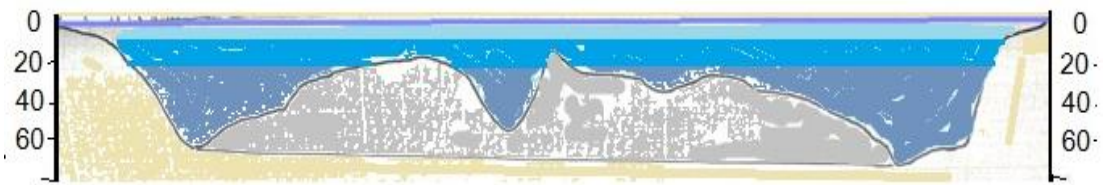


Рис.5.2. Характерний розріз Яворівського озера. Відношення горизонтального масштабу до вертикального 2:1.

Площа мілководь, придатних для купання, дуже невелика, 0,3 % від площі озера. Вони утворилися тільки на північному березі, в долині колишньої річки. Штучно сформовані невеликі мілководдя біля півострова «Центр Екомоніторингу» та в затоці Окілки інтенсивно заростають. Західний і південний береги складаються з мергелю і глини з включенням пісковика.

**На місці Роздільського північного кар'єру** створений каскад озер: Чисте, Середнє і Глибоке. Абсолютні відмітки рівня затоплення – 268, 267 і 252,4 м відповідно. Затоплення Глибокого озера завершилося в березні 2010 року. Вода з нього стікає в Дністер каналом довжиною 3 км. Переливний поріг розташовується на відмітці 252,4 м (рис. 5.3).



Рис. 5.3. Озера на місці сірчаного кар'єру в Новому Роздолі

**Озеро Чисте** діаметром 430 м та площею 14,5 га має форму правильного конусу. Глибина в центрі озера – близько 15 м. Відносна глибина – 3,5 %. Берег складається з надводного кліфу висотою до 1 м і прибережної мілини шириною 1 – 2 м. Під водою берег нахилений під кутом близько 10°. Від озера Середнього воно відокремлено дамбою з відміткою гребеня 272 м. Рівень води в озері – близько 268,5 м, при його перевищенні вода переливається в озеро Середнє через проран у дамбі. Дно мулисте, мілководних ділянок немає.

**Озеро Середнє** має овальну форму. Його довжина – 1500 м, ширина до – 730 м, площа – 266 га. У березні 2011 року на об'єкті проведені батиметричні дослідження з використанням ехолоту (визначення глибини) і далекоміра (з'ясування відстані від берега). За результатами вимірів побудована карта (рис. 5.4.) Найбільша глибина склала 18 м, відносна – 2 %.

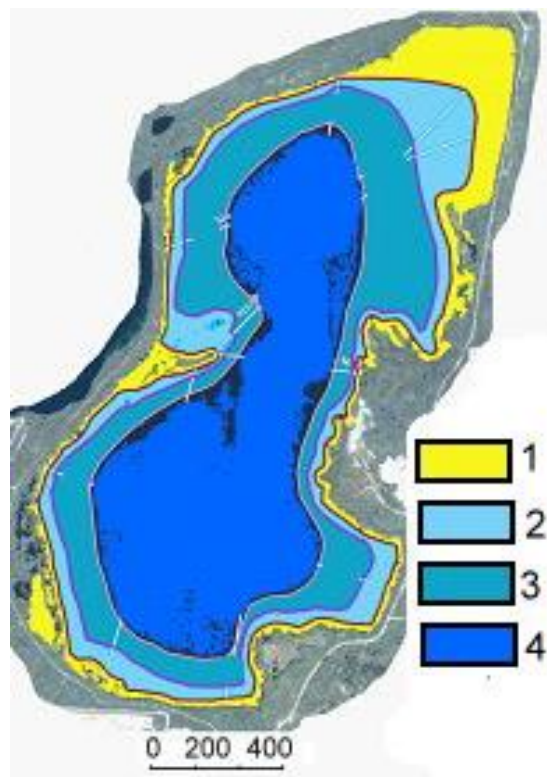


Рис. 5.4. Карта глибин оз. Середнього. 1 – до 5 м, 2 – від 5 до 10 м, 3 – від 10 до 15 м, 4 – від 15 до 18 м.

На більшій площі озера дно вкрите чорним мулом текучої консистенції з запахом сірководню. Тільки на схилі, що прилягає до дамби, поверхня відносно стійка (відстань 100–150 м). Рослинність на дні відсутня, за виключенням прибережної смуги (літоралі) шириною 3 – 10 м.

**Озеро Глибоке** (рис. 5.5) сформувалося на місці залишкових виробок Північного кар'єру. Дно знаходиться на відмітці 210 м, а рівень затоплення – на відмітці близько 252,4 м. Об'єм водойми дорівнює 16 млн м<sup>3</sup>, площа водного дзеркала – 563 га, найбільша глибина – 43 м, відносна – 3,2 %. У 1993 – 1994 роках практично по всій площі був відсипаний шар глини товщиною 10 м. Не засипано тільки невелику площу навколо зумпфа, з якого відкачували воду. Рі-



вень затоплення залишкових виробок визначений за умови самопливного витікання води в Дністер. Воно організовано за допомогою каналу з порогом на відмітці 252,4 м.

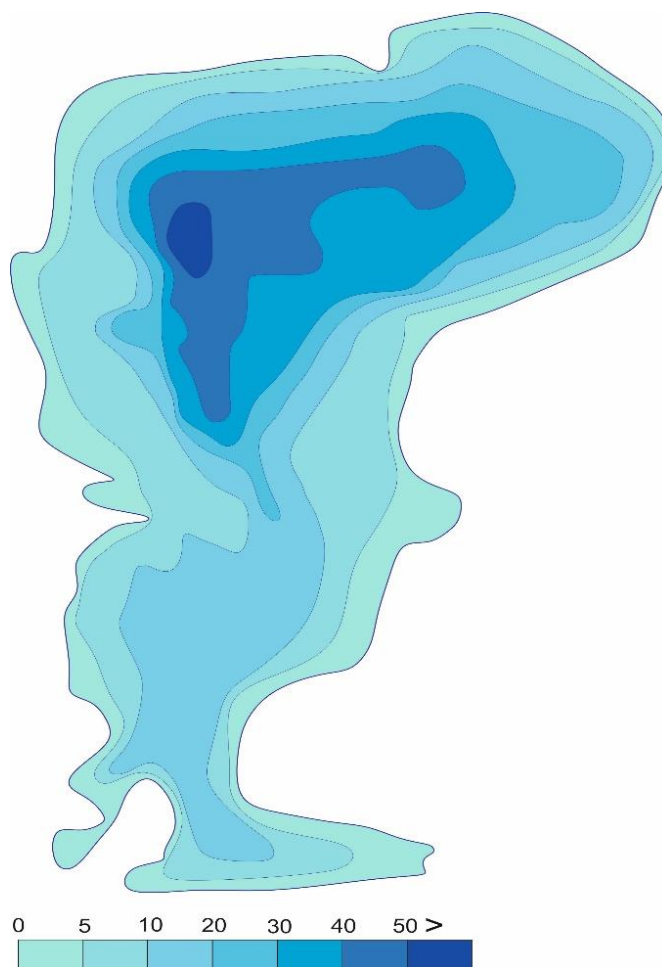


Рис. 5.5. Карта глибин оз. Глибокого в Новому Роздолі

Зйомка підводного схилу ехолотом виконана у північній частині озера Глибокого. За результатами побудовані профілі берега у порівнянні з колишніми бортами кар'єрів. За різницею між сучасним профілем берегового схилу озера та первинного розрізу борту кар'єру визначені ділянки денудації та акумулювання сучасних відкладів. Наводимо характерний розріз за результатами вимірів (рис. 5.6).

Профіль проходить впоперек північного борту від берегової лінії до зумпфа. Глибина озера в районі зумпфа становить 43 м. У береговому профілі розрізняються ділянка, де уступи кар'єру зрізані підводним зсувом, зона акумуляції, де накопичені зруйновані породи зсувного масиву. Основою служить субгоризонтальне днище кар'єру, нахилене в бік берега. Кут берегового схилу, на якому затрималися зсувні маси, дорівнює 17 градусам. Зсувні маси ізолюють виходи сірковмісних вапняків на дні кар'єру.

Ширина прибережної мілини з глибиною 1,5 м у межах профілю становить не більше 3 м, оскільки високі береги захищають водне дзеркало від вітру, а рослинність закріплює берегову лінію.



Рис. 5.6. Профіль підводного схилу оз. Глибокого

**Подорожненське озеро** має площу 420 га, об'єм – 124 млн м<sup>3</sup> (рис. 5.7). Його довжина – 3,3 км, ширина – до 1,4 км. За глибиною розрізняється північна частина з показником до 50 м і південна (максимум – 85 м). Між цими впадинами навпроти острова знаходиться підвищення, де глибина не перевищує 30 м. Відносна глибина становить 8,6 %. До східного берега прилягає острів площею 28 га, сформований при внутрішньому відвалоутворенні. Його оточують дві затоки, які утворилися на місці виїзних траншей. Ще одна вузька затока з'явилась на західному борту внаслідок ерозії в місці впадіння річки Крехівка.

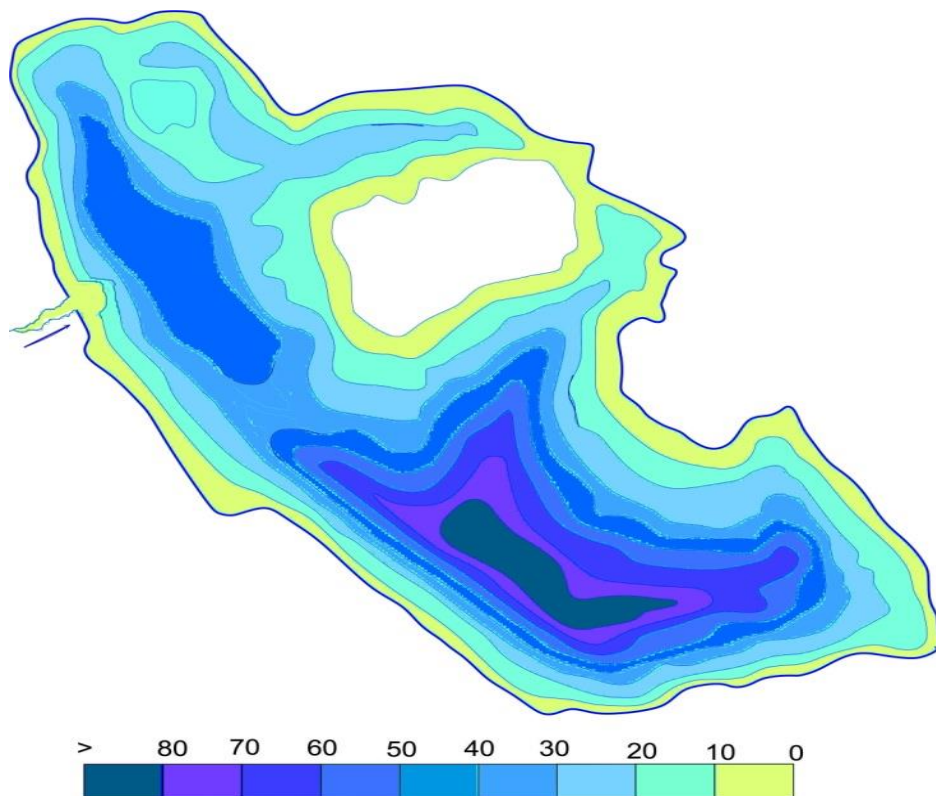


Рис. 5.7. Карта глибин оз. Подорожненського

Тут сформувався конус виносу – мілководна зона шириною до 50 м, складена розмитим і перевідкладеним суглинком.

Північно-східний берег являє собою відвали з мергелю, глини і уламків гіпсоангідриту. В результаті розмиву і зсувів він виположений до кута близько  $9^\circ$  (рис. 5.8). Західний і південний береги складені корінними відкладами, середній нахил підводної частини тут  $13^\circ$ .

Південна ділянка берега, яка прилягає до села, закріплена призмою із гальковика, який відсипаний під кутом до  $12^\circ$ .

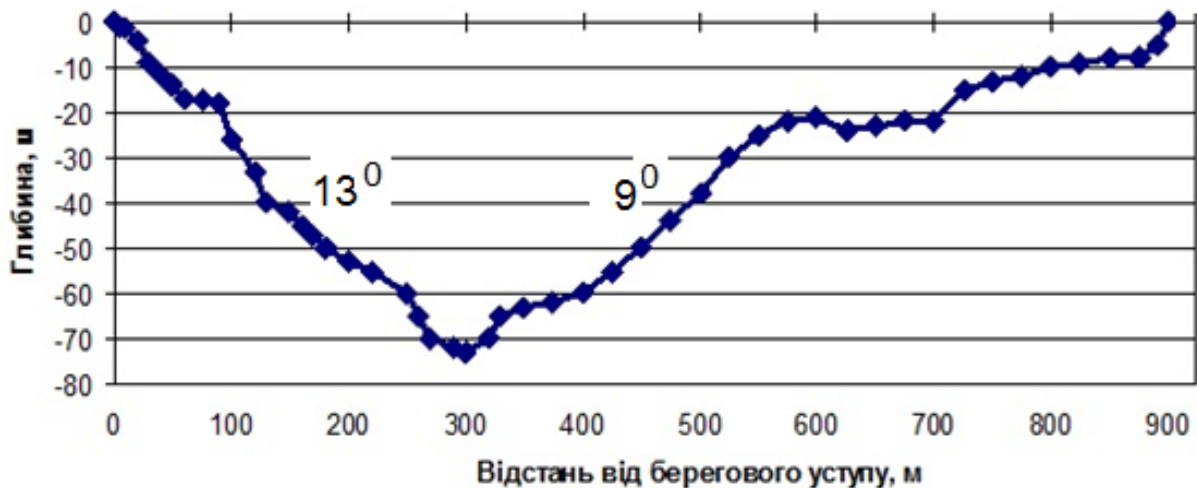


Рис. 5.8. Профіль підводних схилів Подороженського озера

На західному березі для масового відпочинку створено мілководдя шириною 20 – 25 м. На цьому місці був кар'єр, з якого видобували гальковик для укріплення берега. Невеличка мілководна бухта створена також біля північного берега острова.

Для витікання води побудовано канал, який прямує через акумулятивний басейн і з'єднаний з річкою Млинівка, притокою Свічі.

**Домбровське озеро** формується в кар'єрі з видобутку калійної руди (рис. 5.9). Покривні відклади розкриті чотирма уступами висотою до 10 м, а скельні розкривні породи та рудний поклад – уступами висотою до 15 м. Для перехоплення та відведення прісної води з четвертинного водоносного горизонту навколо кар'єру проведено дренажну траншею довжиною 5,3 км і глибиною до 25 м, об'ємом 2,3 млн м<sup>3</sup>.

Глибина кар'єру від поверхні – 140 м, довжина – 900 м, ширина – 850 м, площа – 64 га. Об'єм виробленого простору – 52,5 млн.м<sup>3</sup>. Об'єм до відмітки повного затоплення складає 43 млн м<sup>3</sup>. Генеральний кут укосу бортів кар'єру становив  $65^\circ$ . Затоплення здійснюється стихійно – атмосферними опадами і ґрунтовими водами. Проектний рівень затоплення визначений із умови самопливного розвантажування води в річку Сівка, він становить 295 м. Озеро складається з південної і північної частин, розділених підводною перемичкою. Відмітка дна південної – 173 м. Найбільша глибина від проектного рівня води дорівнює 122 м. Відмітка дна північної ділянки – 237 м, глибина – до 58 м.



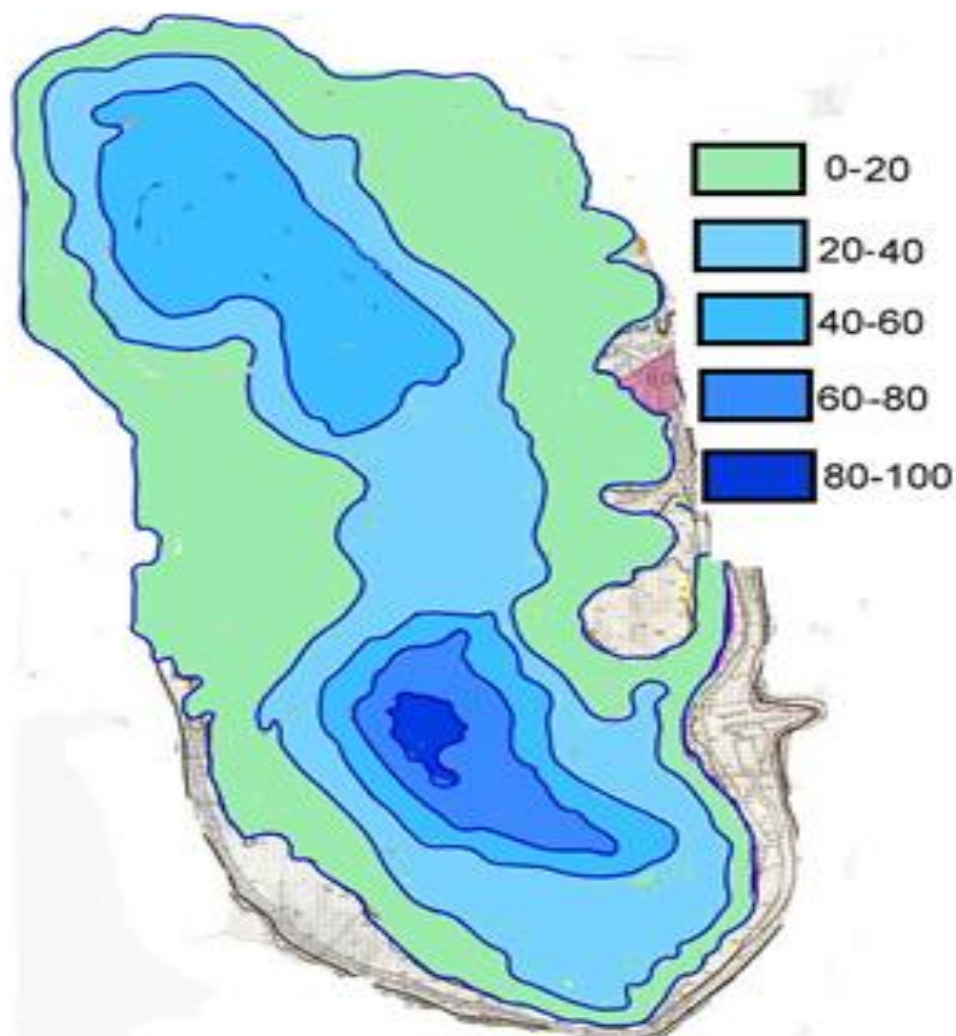


Рис. 5.9. Карта глибин оз. Домбровського (прогноз)

Частину розкриву, переважно соленосних порід, заскладовано у внутрішній відвал, прислонений до східного борту південної ділянки кар'єру. На внутрішньому відвалі накопичені різного роду промислові відходи. Верхівка відвалу знаходиться на відмітці 278 м, отже, після затоплення глибина становитиме 17 м і відходи будуть знаходитися у зоні розсолів – монімолімніоні.

Затоплення соленосної товщі сталося у 2016 році, а повне очікується у 2029 році. Фактично заповнення виробок залежатиме від терміну будівництва впускного каналу. Профіль південного берега показаний на рис. 5.10. В ньому розрізняються три ділянки. Перша має нахил  $24 - 25^\circ$ , вона сформувалася в період затоплення виробок. Друга є уступом корінного борту. Третя – уступ, в якому берми засипані продуктами сповзання порід з першої ділянки. У нижній частині вона плавно переходить у субгоризонтальне дно озера, яке знаходиться на 20 м вище колишнього дна кар'єру. Отже, проектна глибина озера становитиме 100 м.



Рис. 5.10. Профіль підводного схилу південного берега Домбровського озера

Основні характеристики новостворених озер наведені в табл. 5.1, 5.2.

Таблиця 5.1

## Морфологічні показники озер

Характеристика	Умовні позначення і формули	Яворівське	Подорожненське	Роздільські			Домбровське
				Глибоке	Середнє	Чисте	
Абсолютна відмітка рівня	м	230,5	255	252,4	265	267	295
Площа	A, км <sup>2</sup>	6,3	4,2	0,82	0,45	0,1	1,4
Довжина берегової лінії	l <sub>0</sub> , км	12	8,67	5,11	4,8	1,7	5,1
Розвиток берегової лінії	$K=0,28(l_0/\sqrt{A})$	1,34	1,2	1,6	2	1,6	1,19
Об'єм	V млн.м <sup>3</sup>	195	135	16	2,5	1,5	45
Сер. глибина	$D=V/A$ , м	30	29,5	19,5	10,5	15	32,2
Максимальна глибина	D <sub>max</sub> , м	80	80	40	15	16	99
Довжина	L <sub>max</sub> , км	3,2	4	1,68	1,66	0,48	1,9
Ширина	B <sub>max</sub> , км	2,6	1,8	0,56	0,8	0,44	1,06
Форма озерної улоговини		конус	конус	конус	циліндр	конус	конус
Відношення довжини берегової лінії до площі озера	L <sub>0</sub> /A	1,9	2,06	6,2	10,7	17	3,6

Таблиця 5.2

## Характеристики кар'єрних озер

Озеро	Площа водозбору, км <sup>2</sup>	Площа акваторії, км <sup>2</sup>	Динамічні запаси, млн м <sup>3</sup> /рік	Статичні запаси, млн м <sup>3</sup>	Термін затоплення (початок – кінець)
Яворівське	238	6,3	40	195	2002 – 2006
Роздільські	6	1,9	2,1	20	2003 – 2010
Подорожненське	50	4,8	12	135	2003 – 2013
Домбровське	8	1,2	3,5	44	2008 – 2023 ?
Разом		14,2	57,6	394	

**Висновки до розділу 5.** Кар'єрні водойми успадковують форми виробок, які, в свою чергу, залежать від форм та умов залягання рудних покладів, властивостей руди і розкривних порід, систем розробки. Кар'єрні озера відрізняються від природних великою глибиною при малій площі, стрімкими берегами, конусоподібним дном, східчастими схилами. У результаті берегових процесів кар'єрні озера наближаються до форм природних: утворюється прибережна мілина (літораль), вирівнюються уступи і берми, формуються донні механічні і органогенні осади. Подібними до кар'єрних є вулканогенні та метеоритні озера. В кар'єрних водоймах зосереджені значні запаси води.



## 6. Формування хімічного складу води

Формування хімічного складу води в кар'єрних озерах починається в період затоплення. Надалі він змінюється, наближаючись до показників в глибоких природних озерах даної кліматичної зони. В період затоплення залежить від співвідношення кількостей вод різного складу, що надходять до виїмки: атмосферні опади безпосередньо впливають на водне дзеркало та на борти кар'єру, стоки з площі водозбору навколо виробок, підземні, а також річкові води при керованому затопленні. Основним процесом формування складу води на стадії затоплення є змішування.

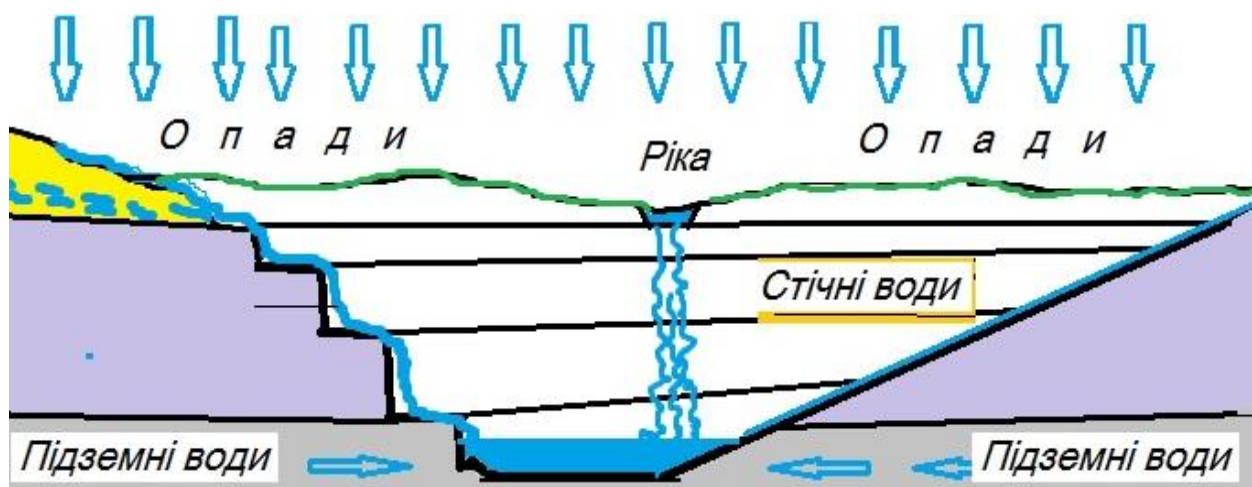


Рис. 6.1. Джерела припливу води при затопленні виробок кар'єру

**Склад атмосферних, річкових і підземних вод.** Атмосферні води зазвичай є ультрапрісними з мінералізацією до 50 мг/л. Приклад їх хімічного складу наведено в табл. 6.1 [2]. При проведенні розрахунків часто мінералізацію атмосферних опадів приймають такою, що дорівнює нулю.

Таблиця 6.1

Хімічний склад дощової води у Прикарпатті, мг/л (літо 2019 р.)

Компоненти	NH <sub>4</sub>	Ca	Mg	Na+K	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	Сума
Проба 1	0,1	8	2,4	2	17,2	12,2	3,6	50,3
Проба 2	0,4	8	3,6	2	23,0	12,0	3,6	54,8

Річкові води в зонах гумідного клімату відрізняються малою мінералізацією. Приклади їх хімічного складу у річках Прикарпаття наведені в табл. 6.2.

Таблиця 6.2

Хімічний склад води у річках Прикарпаття, мг/л (літо 2019 р.)

Річка	O <sub>2</sub>	pH	Ca	Mg	Na+K	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	Сума
Дністер	8 – 10	7,4	90	17	82	92	279	121	681
Шкло	9 – 11	7	84	3,6	11	40	304	11	453
Свіча	11 – 12	7	60	6	9	53	122	28	230

Як видно із даних табл. 6.2, води річок Прикарпаття прісні олігогалінні. Вміст кисню в них залежить від температури і в середньому становить 11 мг/л. Якість води зазвичай відповідає нормам питного водопостачання і рибного господарства. У природних водах вміст мікроелементів має малу концентрацію, що обумовлене як низьким кларком, так і малою розчинністю в умовах нейтрального середовища. Для деяких металів ця концентрація обмежена через наявність у природній воді елементів, з якими вони утворюють нерозчинні сполуки. Наприклад,  $Ba^{2+}$  і  $Sr^{2+}$  випадають в осад за присутності  $SO_4^{2-}$ , а концентрація Ag та Pb контролюється наявністю  $Cl^-$  та  $Br^-$ .

В гірничо-промислових районах сходу та півдня України річки часто мають великий вміст сульфатів і хлоридів, а також забруднені господарсько-побутовими стоками. Приклади хімічного складу води річок Донецької області наведені в табл. 6.3.

Таблиця 6.3

Хімічний склад води деяких річок у Донецькій області, мг/л (2001 р.)

Річка	Ca	Mg	Na+K	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	Сума
Сіверський Донець на межі Донецької і Луганської обл.	120	23	204	389	268	210	1214
Мокра Плотва в м. Соледар	492	90	794	1876	206	933	4506
Самара на межі Донецької і Харківської обл.	132	78	398	998	250	362	2436

Можна зробити висновок, що вони відносяться до солонуватих  $\beta$ -мезогалінних. Непридатні для питного споживання. Водночас в південних областях України трапляються прісні підземні води, кращі за якістю у порівнянні з забрудненими річковими.

Підземні води зазвичай є більш мінералізованими за поверхневі. Як правило цей показник збільшується з глибиною. В районі поширення сульфатно-карбонатних відкладів Прикарпаття підземні води збагачені сульфатами (до 2 г/л) і містять сірководень в кількості до 200 мг/л. Приклади хімічного складу води неогенового водоносного комплексу в районах сірчаних кар'єрів наведені в табл. 6.4.

Таблиця 6.4

Хімічний склад води неогенового водоносного комплексу, мг/л

Кар'єр	pH	H <sub>2</sub> S	Ca	Mg	Na+K	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	Сума
Подорожненський	7,6	25	455	84	772	3260	451	100	5122
Роздільський	6,7	39	561	53	210	1565	646	6	3041
Яворівський	6,8	47	556	62	210	1600	476	35	2940
Махув	6,8	450	Немає даних			2134		4340	

Води поверхневого стоку навіть за межами впливу гірничих підприємств часто забруднені. У природних умовах з водозбірної площі навколо кар'єру змиваються мілкозем та органічні речовини, збагачені, наприклад, азотом. З необробленої водозбірної площі змивається 0,04 г/м<sup>2</sup> фосфору, а якщо поверхня є оранкою – 0,2 – 0,7 г/м<sup>2</sup>. З площі тваринницьких ферм надходить 6 – 13 г/м<sup>2</sup> на рік фосфору [21].

У зонах впливу гірничих підприємств поверхневі води часто мінералізовані і збагачені важкими металами. Вони утворюються за рахунок вилуговання солей із відвалів розкривних порід, промислових відходів і хвостосховищ. Наприклад, дренажні води з-під відвалів металургічних відходів у Запоріжжі характеризуються вмістом солей до 26 г/л при рН=9,9 [21]. Мінералізація дренажної води з солевмісних відвалів Домбровського кар'єру в Калуші досягає 250 – 300 г/л.

Характерним прикладом впливу стічних вод з відвалів на водойми у зоні діяльності гірничо-хімічної промисловості може бути одне із озер у Новому Роздолі, де в минулому столітті функціонував завод складних мінеральних добрив. Фосфорною сировиною був апатитовий концентрат з Хібінських родовищ. Са<sub>5</sub>(РО<sub>4</sub>)<sub>3</sub>F не розчиняється у воді і не засвоюється рослинами. Щоб одержати мінеральне добриво, його обробляють сірчаною кислотою. Як результат утворюються розчинні фосфати, а кальцій і фтор ідуть у відходи. Тверді продукти реакції, які в основному складаються з гіпсу (СаSO<sub>4</sub>\*2H<sub>2</sub>O), називають фосфогіпсом.

Наявність фтору в апатиті обумовлює формування плавикової кислоти HF, яка розчиняє силікати і перетворюється у кремнійфторводневу кислоту H<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>. При цьому в розчин переходять фосфати заліза, натрію, алюмінію. Хімічний склад порових вод з відвалу фосфогіпсу характеризується наступними даними (табл. 6.5).

Таблиця 6.5

Хімічний склад порових вод з відвалу фосфогіпсу, мг/л

Компоненти	SO <sub>4</sub>	Cl	K+Na	H <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Сухий залишок	pH
Вміст	4200	265	1269	4800	17040	13700	2,4

Коли підприємство працювало, воду, яка вимивалася із відвалу фосфогіпсу атмосферними опадами, нейтралізували шляхом вапнування. Після припинення виробництва кислі води, збагачені Fe, Mo, Cu, Ba, P, F, Cd, Sr, накопилися у виїмці центрального кар'єру. Утворилося озеро Кисле. Вода в ньому іхтіотоксична, із низькими значеннями рН та специфічним зеленувато-сірим забарвленням.

З метою покращення екологічної ситуації вздовж берегової лінії були відсипані призми з відходів збагачення сірчаної руди, які на 70 % складені з меленого вапняку. Як наслідок рН води підвищився до 4,5 і на берегах озера відновилися рослинність (рис. 6.2).





Рис. 6.2. Озеро Кисле біля відвалу фосфогіпсу

**Вплив кліматичних показників.** При самозатопленні кар'єрних виробок велику роль відіграє випаровування з водної поверхні, яке збільшується разом із зростанням її площі. Саме тому в умовах аридного клімату повного затоплення виробки може не статися. Випаровування призводить до накопичення солей у водній товщі та випадання осаду.

У безстічних озерах аридної зони в озеро підземними водами приносяться розчинні речовини в кількості, яка дорівнює добутку дебіту припливу  $Q_n, м^3$  на концентрацію солей  $C, кг/м^3$ :

$$G = Q_n * C, кг/рік$$

Як результат здійснюється накопичення солей в озері, мінералізація води збільшується і через декілька років  $T$  становить:

$$M = Q_n * C * T / V, кг/м^3,$$

де  $V$  – об'єм води в озері,  $м^3$ .

В деякий момент, якщо мінералізація досягне концентрації насиченого розчину, можливе випадання осаду. Випаровування впливає на процес температурної сегрегації. Зокрема при нейтралізації кислих вод утворюються сульфати кальцію, які можуть випадати в осад при збільшенні концентрації до 2 г/л. При перевищенні випаровування над опадами у верхній частині озер вода має більшу мінералізацію, ніж на глибині. Тому в холодний період може здійснюватися перемішування водної товщі.

**Вплив літологічного складу озера.** За хімічними властивостями розрізняють породи озера: 1) нейтральні (нерозчинні), 2) слабо розчинні, 3) розчинні, 4) хімічно активні. Прикладом нейтральних є вивержені

породи: граніти, гнейси, базальти та ін. До слабо розчинних відносяться вапняк, крейда, гіпс і ангідрит. Розчинні вміщують галіт, а також калійні і магнієві солі.

Силікатні породи взаємодіють з водою, але повільніше. Темноколірні мінерали, які вміщують кальцій (плагіоклаз, олівін та ін.), в контакті з водою перетворюються в нейтральні глинисті мінерали, такі як каолінит. В цілому лужні породи (базальт, габро, амфіболіт, перидотит) сприяють нейтралізації кислих вод, тоді як кислі (граніт, ріоліт, кварцит) практично не змінюють склад води.

Хімічно активними є породи, що містять мінерали, які при наявності кисню набувають розчинної форми. Це сульфідні заліза – пірит, марказит, мельніковит; сульфідні міді, цинку та інших металів. Сульфідні мінерали під дією води і кисню окислюються і переходять у розчинні сульфати, в результаті утворюються кислі води. Окиснення піриту активізують бактерії *Thiobacillus* та *Ferrobacillus*, які здатні діяти навіть при рН близько 2 [Ca].

Від рН залежить розчинність багатьох елементів, зокрема важких металів. Межі існування водної біоти також залежать від рН. В кислих водах (рН < 4) спостерігаються високі концентрації таких металів, як Al, Cu, Fe, Mn, Zn. Із аніонів часто переважають сульфати. Навпаки, лужні води бідні на метали, але мають підвищені концентрації As та Se у вигляді  $\text{HAsO}_4$  та  $\text{SeO}_4$ . Високий вміст заліза в кислих водах призводить до зменшення прозорості води та набування нею червоного коліру. Зокрема, це характерно для озер в кар'єрних виробках Іршанської групи розсіпних родовищ титану. Це дуже негативно впливає на біопродуктивність озер та гальмує процес природної самоочистки води.

В статті [Еа] дається статистичний аналіз вмісту важких металів в кар'єрних озерах США, де видобували мідь, золото та інші метали. Високі концентрації Al, Fe, Mn, Cd, Cu, Pb, and Zn пов'язані з кислими водами (рН < 4,5), що утворюються внаслідок високої розчинності різних оксидів, гідроксидів, сульфатів, карбонатів в відповідних умовах. Подібна ситуація спостерігається в озерах Німеччини на місці вугільних розрізів.

В нейтральних водах вміст важких металів незначний. В лужній воді, яка утворюється при евапотранспірації або в контакті з лужними мінералами, вміст важких металів також може бути підвищеним. В такому середовищі відмічається великий вміст металоїдів As та Se, що пов'язано як з розчинністю відповідних мінералів, так і з евапоконцентрацією. Одержані дані можуть служити для прогнозування вмісту розчинених елементів в аналогічних умовах.

Наприклад, в кар'єрі Лон-Трі (США) близько 50 % вміщуючих порід, що відслонені в бортах кар'єру, включають пірит, тоді як карбонати відсутні. Виробка глибиною 1100 м почала наповнюватися підземними водами у 2006 році. Згідно з прогнозом затоплення буде продовжуватися 100 років. За цей час вже утворилася кисла вода з рН 2,1 – 2,5.

Хімічний склад озерного ложа не є постійним, він змінюється в часі під впливом геодинамічних і геохімічних процесів та вивітрювання. За наявності карбонатів кальцію і магнію здійснюється нейтралізація кислих вод за реакцією:



Більшість розчинних та хімічно активних порід не повністю складені активними мінералами, а вміщують нерозчинні компоненти. З часом поверхня бортиків покривається розпушеними слабо проникливими інертними мінералами, які запобігають подальшому вилуговуванню. Однак на крутих уступах кора вивітрювання змивається дощами, розкривається свіжа поверхня. Одночасно на бермах накопичуються продукти розмиву, які ізолюють відслонення корінних порід.

Вплив геодинамічних процесів на хімічний склад озерних вод особливо наочно проявлений при формуванні складу води при затопленні Домбровського калійного кар'єру. На його початку дощові води обмивали соляні обриви й перетворювалися у ропу, в якій вміст солей досягав 400 г/л. Через обвалення бортиків, складених нерозчинними породами, площа контакту солей з водою стала все меншою, почалося опріснення розсолів.

Станом на 2019 рік мінералізація води на поверхні озера зменшилася до 20 г/л. Виходи солі опинилися під шаром нерозчинних порід. Оскільки прісна вода легша за солону, вони змішуються тільки в результаті дифузії. Однак дифузія – найповільніший із природних процесів. Тому солоня вода залишається на глибині, тоді як прісна накопичується на поверхні (рис. 6.3).

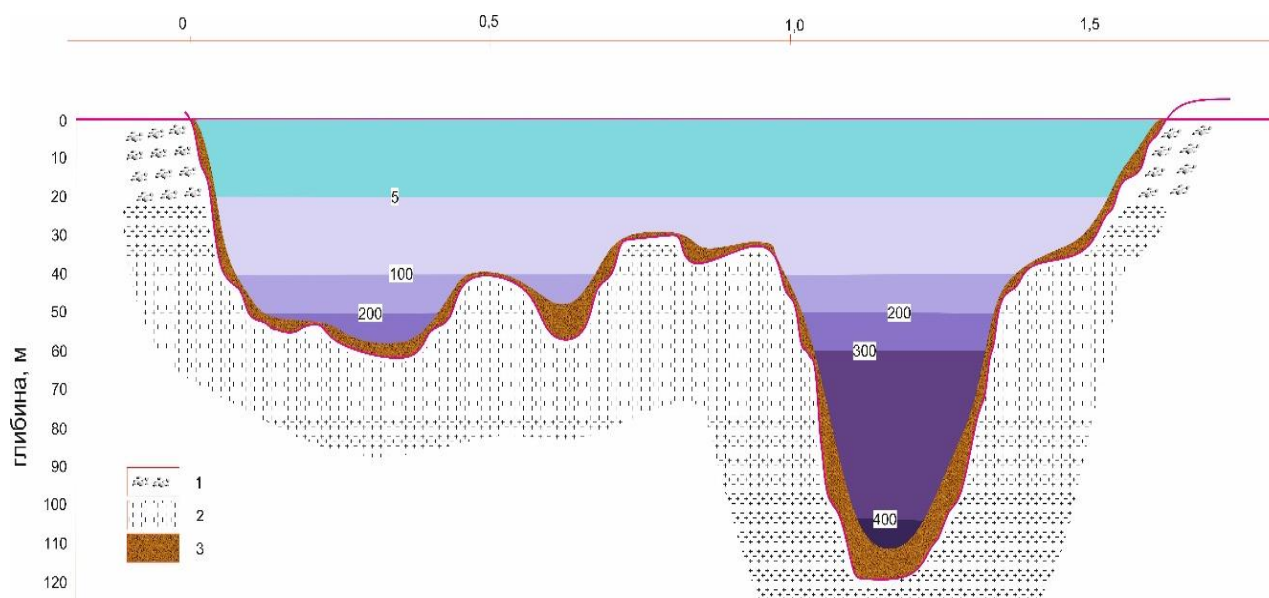


Рис. 6.3. Гідрохімічна зональність Домбровського кар'єрного озера. 1–нерозчинні породи, 2–солонясна товща, 3– мул. Цифрами показано вміст солей в г/л.

**Динаміка змін хімічного складу.** Хімічний склад води новоутворених кар'єрних озер залежить перш за все від режиму затоплення. Виділяють два: 1) самозатоплення після припинення видобувних робіт, 2) регульоване затоплення з додаванням води із зовнішнього джерела. За часом розрізняються три стадії



формування хімічного складу води кар'єрних озер 1) затоплення, 2) трансформація, 3) стабілізація.

У період затоплення співвідношення між кількістю надходжень в озеро підземних, річкових і атмосферних вод змінюється в часі, оскільки приплив підземних вод зменшується в міру підйому рівня води в озері. Основним процесом формування хімічного складу води є змішування підземних мінералізованих вод з прісними річковою та дощовою.

Наприклад в Яворівський кар'єр у період затоплення надійшло 20 % підземної води, 60 % річкової та 20 % опадів з площі водозбору самого кар'єру. Мінералізація підземних вод – 3,5 г/л, річкових – 0,5 г/л, стоків з площі водозбору – 1 г/л. Мінералізація суміші визначається формулою змішування:

$$C = (C_1V_1 + C_2V_2 + C_3V_3) / (V_1 + V_2 + V_3),$$

де  $C_1, C_2, C_3$  – концентрації солей у підземних, річкових і атмосферних водах відповідно,  $V_1, V_2, V_3$  – частка різної води у суміші. В цьому прикладі  $C = 1,2$  г/л. Звідси випливає дуже важливий висновок: щоб одержати найкращу якість озерної води, потрібно якнайшвидше заповнити виробки прісними водами з поверхневих водотоків.

Вміст кисню у воді залежить від температури (рис. 6.4). В холодній кисню більше, ніж у теплій. Його наявність є найважливішим показником хіміко-біологічного стану водного об'єкта. Джерелами надходження кисню в природні води є:

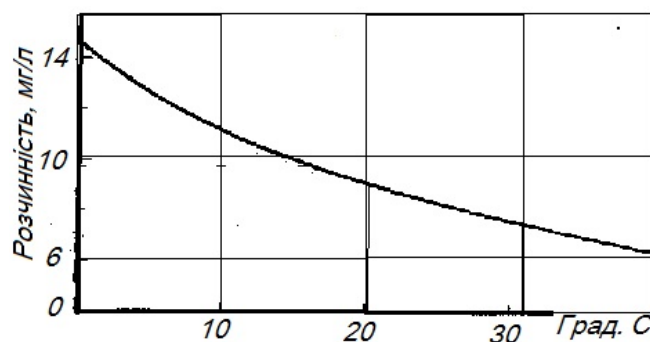


Рис. 6.4. Залежність розчинності кисню у воді від температури

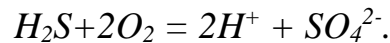
- адсорбція з атмосфери, яка збільшується з пониженням температури, підвищенням тиску, виникненням вітрових хвиль, перемішуванням;
- органічний фотосинтез, що проходить у верхньому шарі води;
- річкові, дощові та снігові води, які часто перенасичені киснем.

Кисень води споживається гідробіонтами, а також витрачається на окислення хімічних і органічних речовин. Величини хімічного (ХПК) і біологічного (БПК) поглинання кисню є найважливішою характеристикою якості води. Вміст кисню в поверхневих водах залежить від співвідношення кількостей його продукування і споживання. В молодих озерах процес деструкції (розкладання органіки на прості речовини) переважає над продукцією і цим пояснюється здатність до самоочистки води – оліготрофність [19].

Найбільші концентрації кисню у воді спостерігаються восени, найменші взимку, коли водойми замерзають і втрачається контакт з повітрям. Мінімальний показник, необхідний для нормального розвитку риби, складає 5 мг/л. При концентрації кисню менше 2 мг/л спостерігається їх масова загибель [16].

Особливістю підземних вод, які приймають участь у формуванні хімічного складу води в сірчаних кар'єрах, є наявність сірководню. При змішуванні підземних і поверхневих вод здійснюється його окиснення як за участю різних груп бактерій, так і хімічним шляхом.

Окиснення сірководню киснем поверхневих вод проходить за реакцією:



На окиснення одиниці маси сірководню потрібно 1,88 одиниць кисню. Залишковий вміст сірководню  $C$  визначається за формулою:

$$C = B_{пов} * C_{кисн} / 1,88 - B_{підз} * C_{сір},$$

де  $B_{пов}$  – частка поверхневих вод,  $C_{кисн}$  – вміст кисню в поверхневих водах,  $B_{підз}$  – частка підземних вод,  $C_{сір}$  – вміст сірководню в підземних водах.

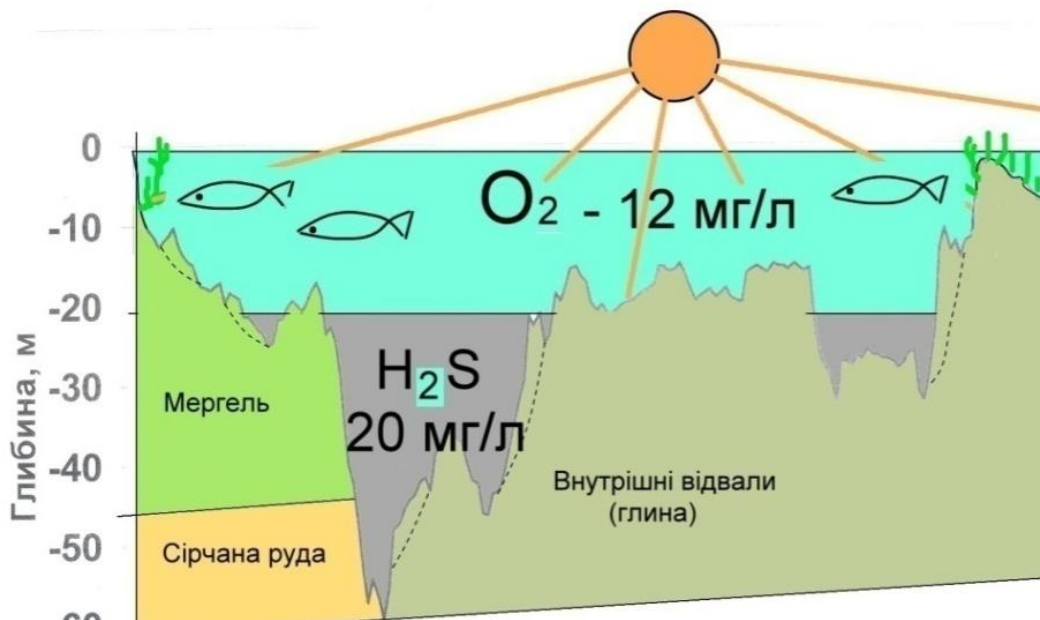


Рис. 6.5. Гідрохімічна зональність Яворівського озера.  
Зверху киснева зона, нижче сірководнева

У розрахунках окиснення сірководню прийнята середня величина вмісту кисню в річці – 10 мг/л. Розрахунок показав, що при вмісті кисню в поверхневих водах 10 мг/л і вмісті сірководню в підземних водах 50 мг/л у суміші залишиться до 5 мг/л сірководню. Проте, в дійсності внаслідок теплової сегрегації кисневі води накопичуються у верхній частині водної товщі, і там сірководень повністю окислюється, тоді як на глибині вміст сірководню дорівнює близько 20 мг/л. В період осінньої інверсії вміст сірководню вирівнюється за глибиною і становить 1 – 2 мг/л.

Вже на першому році затоплення проявилася вертикальна зональність хімічного складу води, характерна для глибоких озер. Від його початку у верхній частині водної маси утворюється кисневий прошарок, де бурхливо розвивається життя.

Після заповнення кар'єрних виробок до максимального рівня приплив підземних вод в озеро стабілізується на мінімальному значенні. Настає період трансформації хімічного складу, під час якої він наближається до рівноважного. Процеси вилуговування розчинних солей в бортах кар'єру уповільнюються. Співвідношення між надходженням в озеро річкової, атмосферної і підземної води тепер залежить тільки від кліматичних факторів. В ході трансформації із озера витікає суміш, яка утворилася при затопленні, і це продовжується до повного водообміну. Тривалість періоду трансформації залежить від проточності. Мінімумально можливий термін водообміну в проточних озерах  $T$  залежить від припливу  $Q$  й об'єму води в озері  $W$ :

$$T = W / Q.$$



Рис. 6.6. Наявність риби –  
свідомство доброї якості води

Насправді, термін водообміну більший за розрахунковий, оскільки в літню пору річкові води тепліші за озерні й обмін здійснюється переважно у верхньому шарі (епілімніоні). В період трансформації прискорюється заселення озера гідробіонтами, тому в кінці цього відрізка біохімічні процеси набувають визначальної ролі.

У період стабілізації склад води міняється тільки під впливом кліматичних факторів і антропогенних змін її якості в водотоках, що живлять озеро. Відбувається остаточне пристосування гідробіонтів до середовища. Формуються мілководна і глибоководна парцелярні екосистеми. В мілководній зоні (літоралі) на глибину до 10 м у воду проникає сонячне проміння і розвиваються макрофіти: рдесник, кушир, елодея, ряска – зелені водорості, які збагачують воду киснем, а також засвоюють розчинені поживні речовини, очищаючи її від фосфору, калію, азоту, сірки. Також вони є їжею для різноманітної водної фауни, зокрема риб (рис. 6.6). У верхніх шарах води до глибини поширення сонячних променів розвиваються плавучі зелені водорості, які також виділяють кисень.

**Стратифікація водної товщі** залежить від температури повітря та швидкості вітру, що утворює хвилі та здійснює вітрові нагони. Ілюстрацією розподілення температури води в озерах кліматичної зони Європи може бути графік, наведений на рис. 6.7. При наявності мінералізованих вод стратифікація ускладнюється через різницю густини поверхневих і підземних вод.



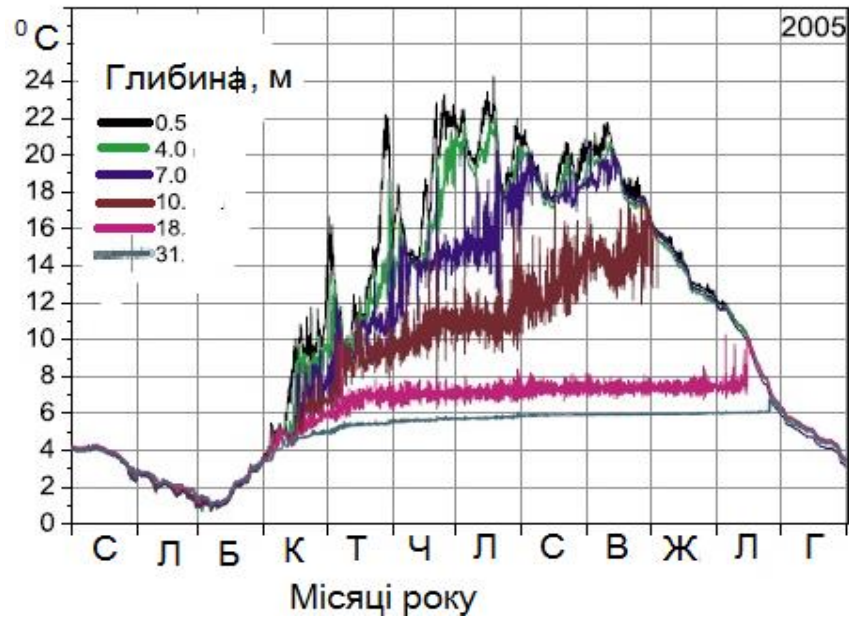


Рис. 6.7. Графік розподілення температури води за часом і глибиною в глибоких озерах. За [47] з доповненнями авторів.

В озерах на місці сірчаних кар'єрів влітку з поверхні до глибини 9 – 10 м температура води дорівнює 19 – 20°C. Нижче, в інтервалі глибин 10 – 14 м вона різко знижується до 8 – 9°C. Характерний розподіл температури і хімічних компонентів за глибиною в Яворівському озері ілюструється рис. 6.8. Восени, коли температура на поверхні стає нижче, ніж на глибині, проходить інверсія: холодна вода спливає на дно озера, витискуючи теплу з глибини на поверхню. На початку зими температура і мінералізація води вирівнюється за глибиною. Як видно із графіків, перемішування здійснюється до глибини близько 20 м.

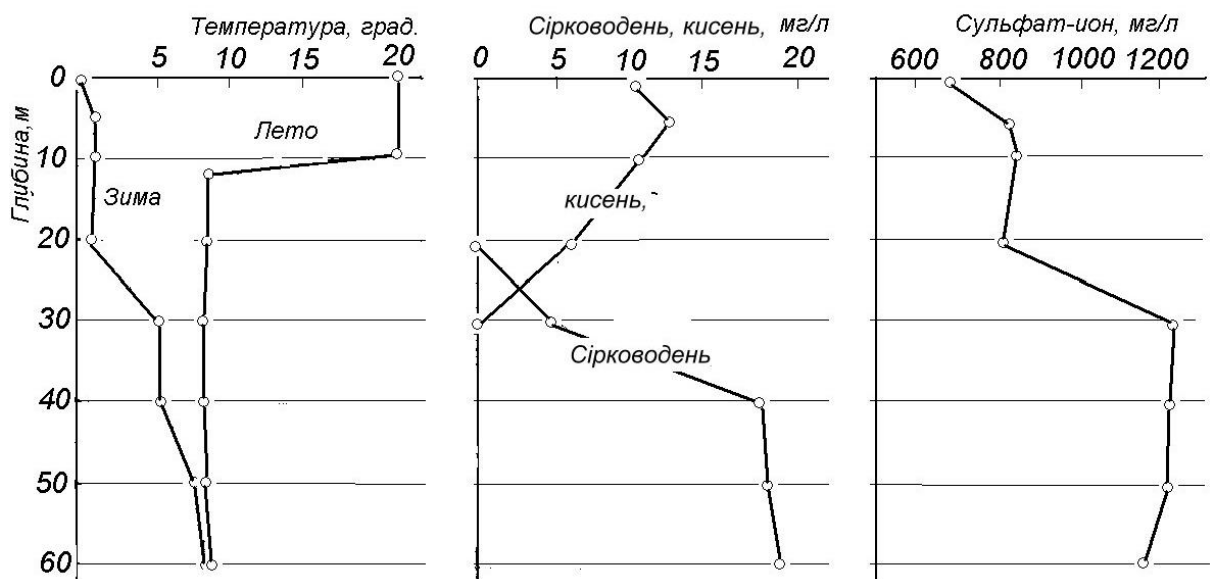


Рис. 6.8. Графіки змін температури і мінералізації води з глибиною в Яворівському озері

Завдяки великим запасам тепла озера замерзають зазвичай тільки в кінці січня, і то не кожного року. Танення криги закінчується на початку квітня. У прісних озерах льодостав утворюється при температурі нижче мінус 5 градусів. В озерах з мінералізованою водою температура замерзання нижча. Її залежність від концентрації розсолів наведена в табл. 6.6.

Таблиця 6.6

## Температура замерзання розсолу, °С

Вміст солей, г/л	Температура замерзання розчину Na Cl	Температура замерзання розсолу калійних шахт
1	2	3
10	0,12	1,11
20	0,8	1,55
30	1,7	2,04
40	2,59	2,56
50	3,47	3,12
100	7,59	6,54
Продовження таблиці 6.6		
1	2	3
150	11,32	10,96
200	14,64	16,38
250	17,57	22,8
300	20,09	30,22
350	Межа розчинності Na Cl – 317 г/л	38,6
400	Межа розчинності Na Cl – 317 г/л	48,06

Коли озеро покрите кригою, хвильове перемішування води припиняється, тому кисень з атмосфери не проникає у воду і може статися аноксія. В цей час припиняються також ерозія і абразія берегів. В період затоплення кар'єрних виробок через підняття рівня води крижаний масив спливає, на контурі водного плеса залишається смуга чистої води без льоду. Це створює небезпеку для аматорів зимової риболовлі та сприяє зимуванню водоплавних птахів.

Між періодами літньої прямої та зимової зворотної вертикальної сегрегації водних товщ, восени та навесні встановлюються осіння та весняна гомотермія – однакові значення температур по всій глибині. У ці відрізки часу можливе виникнення явища термічного бару: наявності в озері одночасно двох типів стратифікації – в центральній його частині прямої, а біля берегів зворотної. Отже, зона контакту між ними і називається термічним баром, коли тепла і холодна водні товщі розділені між собою ніби вертикальною площиною. Незважаючи на те, що мінералізація води в озерах на місці сірчаних кар'єрів в межах 1 – 3

г/л дуже слабо впливає на градієнт густини, перемішування водної товщі не поширюється на всю глибину, про що свідчить наявність сірководневої зони. Яворівське і Роздільське Глибоке озера є мероміктичними. Водночас у Подорожненському, де приплив підземних сірководневих вод практично відсутній, стратифікація водної товщі проявляється слабо. В зимовий період температура і мінералізація води є постійною за глибиною.

Інакше виглядає розподіл температури та мінералізації в розсолених озерах (рис. 6.9). Мінералізація збільшується з глибиною, що створює парниковий ефект. Такий розподіл температур влітку посилює ефект гравітаційного розділення водної товщі.

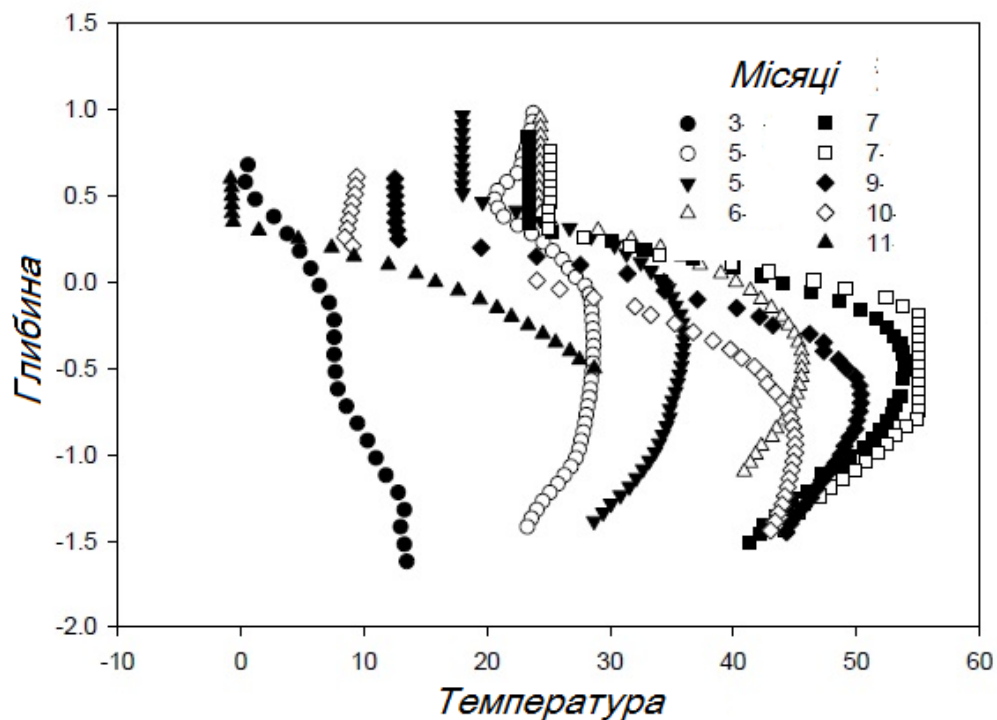


Рис. 6.9. Розподілення температури за глибиною в гарячому соленому озері біля Вашингтона [70]

В статті [70] наведено результати детального дослідження гарячого соленого озера в колишньому кар'єрі з видобуткі епсоміту ( $[\text{MgSO}_4] \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ). Влітку в міксолімніоні температура тут досягає  $55^\circ\text{C}$  (максимум  $63^\circ\text{C}$ ). Явище що спостерігається в солоних озерах Кунігунда в Солотвиному, і Тузлучному в Південному Заураллі. Вони відрізняються унікальним складом мікроорганізмів, які, на думку авторів, можуть свідчити про біохімічні умови на ранніх стадіях розвитку Землі.

У Домбровському кар'єрі влітку температура на поверхні досягає  $24^\circ\text{C}$ , а на глибині 3 м –  $30^\circ\text{C}$ . Глибше вона різко зменшується до  $24^\circ\text{C}$ , потім плавно понижується і становить  $18 - 19^\circ\text{C}$ . Зимою на поверхні, де розсіл контактує з кригою, температура дорівнює нулю, а вже на глибині 10 м досягає  $19^\circ\text{C}$ ! І тут же спостерігається стрибок мінералізації. Різка зміна температури додатково



створює перепону для перемішування розсолу. Це яскраво виражене мероміктичне озеро.

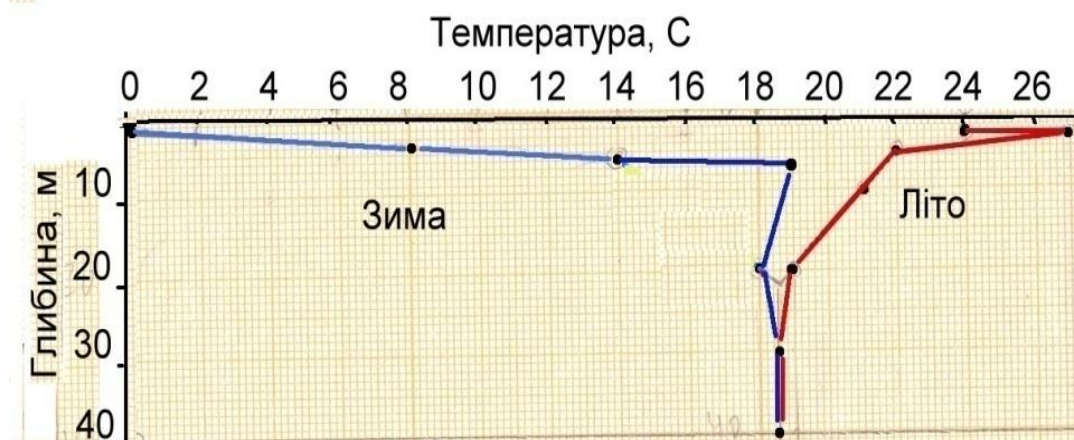


Рис. 6.10. Розподіл температури за глибиною Домбровського озера

**Способи покращення якості води.** В літературі даються описи двох способів покращення якості води: додавання хімічних речовин і інтенсифікація бактеріальної сульфат-редукції. У статті [38] описаний досвід робіт з нейтралізації кислої води шляхом розсипання вапна з плавзасобів. Це не дало позитивного результату, оскільки вапно швидко тоне і нейтралізує воду в гіполімнії. Ефективнішим виявилось застосування розчину трони ( $Na_2CO_3 \cdot NaHCO_3 \cdot 2H_2O$ ).

В західній Австралії проведені дослідження двох кислих озер в регіоні Пілбара. Клімат району аридний з жарким літом і м'якою зимою. Максимальна температура влітку становить 35,9 – 38,3, взимку 23 – 25,5°C. Середня кількість опадів – 399 мм, а випаровування досягає 3000 мм на рік. Були досліджені два озера: Західне глибиною 9,5 м і площею 0,3 га та Східне глибиною 8 м і площею 1,5 га. В першому вода мала рН = 2,92, а солоність – 11,83 мС\*см<sup>-1</sup>, у другому – відповідно 4,69 і 9,9. Вміст сульфат-йону становив відповідно 9 і 11 г/л.

Вміст важких металів показаний у табл. 6.7.

Таблиця 6.7

Озеро	Al	Cd	Co	Cr	Fe	K	Se	Zn
Східне	28,1	0,78	1,2	0,1	0,7	26	29	539
Західне	55,9	0,48	1,7	1,4	5,4	43	9	942

Для нейтралізації і очистки води проведені дослідження способу, що базується на мікробіологічному відновленні сульфатів до сірководню. Для інтенсифікації життєдіяльності сульфат-відновних бактерій у Західне озеро було внесено органічну речовину (овес) [53]. У результаті через 106 діб рН води підвищився до 6,2, вміст важких металів також суттєво зменшився. У Східному озері, яке служило як контрольне, склад води практично не змінився.

Подібні показники одержані на озері Берклі-Піт в штаті Монтана (США). Для інтенсифікації сульфат-редукції у воду добавляли мул з каналізації і мелений доломіт [Ca].

Нейтралізація кислих вод з часом здійснюється природним шляхом. Наявність кислих вод вважалася дуже небезпечною при затопленні вугільних розрізів в Німеччині. Однак спостереження показали, що в багатьох випадках з часом здійснюється природна нейтралізація води. Так, на озерах Ненскендорф і Бергвіц вода без спеціальних заходів стала нейтральною впродовж 5 і 25 років відповідно [52]. У водоймах на місці вугільних кар'єрів штату Міссурі (США) кислі води стали нейтральними через 40 – 50 років після припинення гірничих робіт [37]. Це пояснюється накопиченням органіки і розвитком сульфат-відновлюючих бактерій.

**Висновки до розділу 6.** У формуванні хімічного складу води розрізняються стадії змішування під час затоплення, трансформації в період водообміну, стабілізації після того, як вода набуває рівноважного складу. Факторами формування складу води є фізико-хімічні властивості озерного ложа, співвідношення кількості атмосферних, річкових і підземних вод як джерел живлення, хімічні реакції між водами різного походження, біохімічні процеси, а також кліматичні умови. Основним процесом формування складу води на стадії затоплення є змішування. Після того проходить стадія трансформації (водообміну), коли співвідношення вод різного походження змінюється і з озера витікає утворена в період затоплення суміш. На стадії трансформації здійснюється заселення озера гідробіонтами та їх пристосування до мінливого хімічного складу води, тому в період стабілізації біохімічні процеси набувають головної ролі.

Наявність легкорозчинних мінералів в ложі озера або приплив мінералізованих підземних вод ускладнюють процеси температурної стратифікації, що спричиняє формування монімолімніону – глибоководного шару мінералізованої води, яка не перемішується при сезонних коливаннях температури. В окремих випадках, особливо в тропічних місцевостях, мероміктичні озера є термальними.

На багатьох вугільних розрізах та кар'єрах з видобутку сульфідних руд поліметалів через окислення сульфідів утворюються води з кислою реакцією. В літературі висвітлюються способи попередження появи кислих вод та їх нейтралізації на різних стадіях формування озер.

## 7. Біохімія і біологія кар'єрних озер

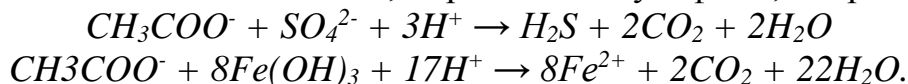
*Вот затопим карьеры мы скоро  
И из шахты поднимем людей,  
Сотворим голубые озёра  
И поселим на них лебедей*

З погляду на умови розвитку біоти розрізняються два типи кар'єрних озер: 1) ті, які заповнюються тільки атмосферними опадами і підземними водами; 2) ті, що заповнюються річковими водами. В озерах першого типу життя зароджується завдяки привнесенню бактеріальної флори і фауни вітром, дощовими стоками з площі водозбору, а також водоплавними птахами. У такий спосіб утворення трофічного ланцюга проходить всі стадії, починаючи з бактеріальної. При цьому умови існування біоти змінюються з часом разом із хімічним складом води, процесами стратифікації водної товщі та переробки берегів.

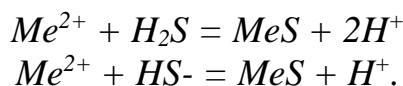
Огляд літератури, присвяченій біології кар'єрних озер, наведено в роботі [22]. Більшість досліджень у сфері колонізації кар'єрних озер присвячені розвитку бактерій, фіто- та зоопланктону. В озерах на місці сірчаних кар'єрів у верхній частині кисневої зони розвивається фітопланктон, який редукується бактерією *Metallogenium*. Межа кисневої і сірководневої зон – місце діяльності тіюнових бактерій. Якщо глибше цієї ділянки ще проникає світло, там йде розвиток фотосинтезуючих сіркобактерій. Тут же виникають умови для поширення сульфат-редуючих бактерій, які споживають органічні фотосинтезовані речовини. Під цим шаром діють залізобактерії.

Органічні речовини переробляються анаеробами. Останні використовують для окислення органіки кисень сульфатів і нітратів, відновлюючи перший до сірководню, а другий до аміаку. Інтенсивність утворення  $H_2S$  залежить від кількості органічної речовини у воді.

Мікроорганізми служать каталізаторами більшості окисно-відновних реакцій. Зокрема, гетеротрофні бактерії живляться розчиненими вуглеводнями і вилучають кисень із оксидів заліза, марганцю та сульфатів, наприклад [Ga]:



Наявність утвореного бактеріями сірководню спричиняє відновлення йонів важких металів:



В цих рівняннях  $Me^{2+}$  відповідає двохвалентними металам *Cd, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn*. Сульфіди металів нерозчинні, тож випадають в осад.

Дослідження мікробіологічних процесів, що здійснюються в новоутворених озерах, має велике наукове і практичне значення. Так, біологами Львівського національного університету ім. Івана Франка (С.П. Гудзь, М.Ф. Коструба та ін.) встановлено, що штами бактерій циклу сульфуру, які виділені з Яворівського озера, можуть успішно застосовуватися для очистки стічних вод від су-



льфатів, сірководню та важких металів. Крім цього, фотолітотрофні бактерії, які утилізують водень сульфід, нагромаджують біологічно активні речовини, зокрема, глікоген.

В озерах на місці сірчанних кар'єрів вода має підвищений вміст сульфат-йонів (до 1200 мг/л). Накопичення на дні водойм органічних речовин спричиняє мікробіологічне відновлення сульфат-йону до  $H_2S$ . На озерах з високою активністю мікроорганізмів вміст вуглекислого газу та сірководню може досягнути критичних значень і бути причиною загибелі організмів в період інверсії водної товщі. Сірководнева вода піднімається до поверхні, що супроводжується замором риби.

Автори вказують на стресові умови проживання біоти на початку формування озера і поступове покращення середовища в міру стабілізації хімічного складу та берегових процесів. Розміри літоральних зон часто обмежені або відсутні, тому водна рослинність бідна і кормова база для риб невелика. Активні берегові процеси призводять до руйнування піонерних екологічних ніш. З іншого боку, наявність водних рослин сприяє стабілізації берегів.

Дуже несприятливими для біоти є води кислотних озер. Наявність сполук важких металів, зокрема  $Zn$  та  $Cu$ , перешкоджає розвитку біоти, деякі види повністю зникають. Однак уже при рН більше 4,5 у воді з'являються зелені водорості (рис. 7.1).



Рис. 7.1. Розвиток водоростей в озері Кислому при рН=4,5

В озера, що заповнюються водою із річок, разом з нею попадає біота, яка в новому середовищі може загинути або пристосуватися. З іншого боку, діяльність живих організмів покращує якість води. С.А. Остроумов [26] класифікував їх на три види: насоси, фільтри та млини. “Насоси” засвоюють хімічні спо-

луки з води, вони або випадають в осад, або потрапляють на сушу. Наприклад, личинки комарів виростають у воді, а потім вилітають і гинуть на суходолі. Водорості засвоюють із води азот, фосфор, калій і сірку, а потім відмирають і падають на дно. Організми-фільтри, такі як молюски, очищують воду, пропускаючи її через свої мембрани. "Млини", до яких належать більшість мікроорганізмів, розкладають складні речовини на прості нешкідливі компоненти.

На глибині, куди не проникає сонячне світло, кисню мало, життя майже відсутнє. Розвиток бентосу в кар'єрних озерах майже неможливий, оскільки борти активно деформуються і на дні накопичуються продукти руйнування. Тільки з часом там поступово накопичуються залишки мертвої органіки, що перетворюються в сапропель. На контакті озерного ложа з водою з'являються органогенна плівка, що регулює обмін речовин.

Всі новоутворені кар'єрні озера молоді і тому олігосапробні. Біохімічні процеси тут мають окисний характер, азотні сполуки представлені  $\text{NO}_3$ , відсутній сірководень, багато продуцентів і мало консументів. У верхній частині водної товщі, що просвічується сонячними променями, оселяються зелені водорості. Вони насичують воду киснем і стають кормом для дрібних організмів – планктону. Слідом за ним з'являється риба, й верхня частина озера живе звичайним для прісноводних водойм життям.

Першими колоністами новостворених озер є мікроорганізми. Їх розвиток з одного боку затримується через несприятливі умови, а з іншого окремі види одержують можливість жити через відсутність конкуренції і консументів. Так, наприклад, у розсолах Домбровського озера виявлена [71] багата популяція гетеротрофного нанопланктону розміром близько 2 мікронів та одноклітинних джгутиконосців. Аналіз води на вміст хлорофілу показав, що водорості є в невеликих концентраціях навіть за межами фотичної зони. Крім джгутиконосців, тут наявні інфузорії, коловертки, акарини (рис. 7.2). Поряд з живими організмами знайдені мертві коловертки, веслоногі та гіллястовусі раки, всього 19 видів.

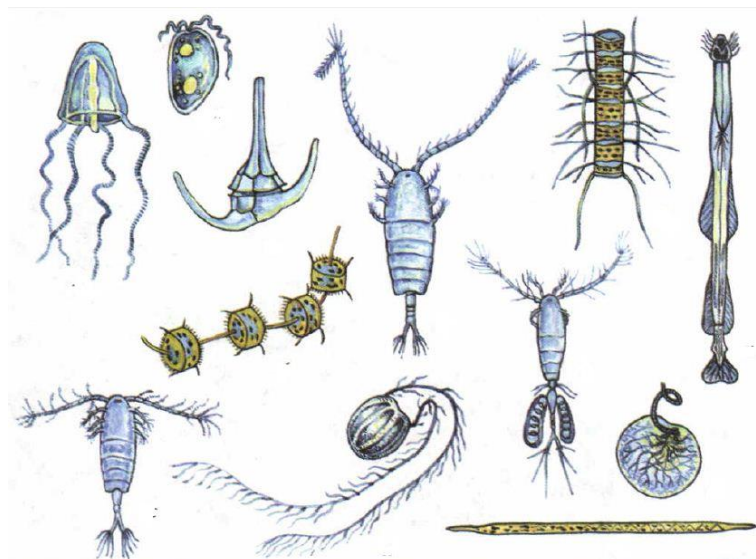


Рис. 7.2. Представники планктону (збільшено у 100 разів)



Основним чинником, що впливає на наявність і різноманітність видів, є хімічний склад води. Зі свого боку розвиток біоти сприяє покращенню її якості. В кислих озерах знайдені види охромонасів та хламідомонанів, а в озерах із помірно кислими водами існують різноманітні діатомові та криптофітові водорості. Якщо новостворені кар'єрні озера подібні до місцевих природних, їх заселення планктоном може відбуватися шляхом перенесення за допомогою водоплавних птахів і з часом наблизитись до природної спільноти. Отже, щільність та різноманітність зоо- та фітопланктону в кар'єрних озерах зростає.



Рис.7.3. Заростання берегів макрофітами створює кормову базу для гідробіонтів

Розвиток макрофітів залежить від кліматичних умов, морфології берегів та хімічного складу води. В місцевостях з помірним кліматом безпосередньо вздовж берегової лінії на глибинах до 1,5 м піонерні види включають очерет звичайний, рогіз широколистяний, різні види рдесника, латаття біле і глечик жовтий, ряску, осоку (рис. 7.3). Зона поширення рослин обмежується наявністю мілководь. Глибше в літоралі з'являються нитчасті водорості.

Якщо виробки заповнюються річковими водами, в місцях впадіння поверхневих водотоків на конусах виносу оселяються двостулкові молюски: беззубка, перловиця, дрейсена.

Риба в кар'єрні озера потрапляє із річок, що його живлять та шляхом штучного зариблення. Кожен вид розвивається в межах певного діапазону температури. Розповсюдження риби значною мірою контролюється наявністю кисню, найкращі умови створюються в місцях впадіння водотоків. У мероміктичних озерах місцем існування риби є епілімніон. В період осінньої інверсії, коли вміст кисню зменшується, можлива її масова загибель.



Умови розвитку риб залежать від різноманіття підводного середовища, можливості захисту молоді від хижаків, наявності схованок для нересту. Тому дуже важливим є затоплення дерев, що виростають на неробочих бортах кар'єру (рис. 7.4). В Подорожненському озері на місці сірчаної виробки нараховується 18 видів прісноводних риб.



Рис. 7.4. Затока з затопленими деревами на Подорожненському озері – сприятливе середовище для риб

Знищення дерев і вирівнювання берегів погіршує умови.

Для рибних водойм встановлені особливі гранично допустимі концентрації (ГДК) розчинених елементів, в тому числі важких металів [11]. Для риб токсичність визначають летальною концентрацією конкретного металу, яка вбиває 50 % організмів упродовж 48-годинного періоду. Важкі метали найтоксичніші у простих іонних формах, зокрема,  $Al^{3+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ , найбільш розчинних у воді при низькому рН. Токсичність збільшується у воді при наявності інших форм екологічного стресу: екстремальної температури, браку кисню, каламутності. Найчутливішими до вмісту важких металів (міді, цинку, марганцю) є лососеві.

Однак, навіть нижчі концентрації металів можуть мати згубний вплив на виживання риби, зокрема, на розмноження або зниження здатності уникати хижаків.





Рис. 7.5. Водоплавні птахи – найважливіші мешканці озер

Водоплавні птахи – це звичайні жителі кар'єрних озер (рис. 7.5). Відразу з початком процесу затоплення на островах оселяються мартини, хоча швидке підняття рівня води призводить до знищення гнізд. Заселення озер птахами обмежується вузькою смугою зарослого очеретами мілководдя. Восени тут скупчується безліч качок, які часто обсідають кромки льоду замерзаючої води, затримуючи утворення крижаного покриву. Тільки після остаточного льодосплаву вони перелітають на південні водойми. Рекреаційне використання кар'єрних озер та браконьєрство стримують чисельність водоплавних птахів.

У прибережній смузі озер поселяються водоплавні дикі тварини: ондатри, бобри та ін. (рис. 7.6).



Рис. 7.6. Сліди діяльності бобрів на прибережжі Яворівського озера

**Висновки до розділу 7.** З початком затоплення кар'єрних виробок і впритул до стабілізації новоутворених озер в них розвиваються гідробіоти, види та щільність яких змінюється відповідно до змін температури та хімічного складу води. Саме він є основним чинником, що впливає на різноманітність видів. Зі свого боку розвиток біоти сприяє покращенню якості води. Найбільшою щільністю та різноманіттям характеризується літораль – прибережне мілководдя, яке просвічується сонцем до дна. Першими поселенцями нових озер є мікроорганізми, які життєздатні навіть при екстремальних температурі та хімічному складі води. За ними з'являються планктон, макрофіти, безхребетні, риби, водоплавне птаство, водолубні ссавці, тобто формується повна трофічна піраміда. Рибна продуктивність кар'єрних озер обмежена через велику глибину та малу площу літоралі.

В мероміктичних озерах основним місцем існування гідробіонтів є епілімніон. На межі гіполімніону і монілімніону відбувається масова загибель гідробіонтів з утворенням міксолімніону – шару, збагаченого органікою.



## 8. Господарське освоєння кар'єрних озер

*Вода... Ти наповнюєш нас радістю  
Ти є найбільшим у світі багатством.  
Антуан де Сент-Екзюпері*

*«Водна криза планети  
може виявитись значно небезпечнішою за енергетичну  
– джерело енергетичної сировини взаємозамінні,  
води – ні».  
О.Н. Толстіхін*

Новостворені кар'єрні озера суттєво покращують екологічний стан місцевості. Виконуючи роль акумулятора, вони попереджають утворення нищівних весняних повеней та зберігають запаси води на літо. В озерах вона відстоюється і очищається від мулу, що покращує її якість в річках, які з них витікають. Завдяки поглинанню тепла влітку та його віддачі взимку покращується мікроклімат прибережних територій. В озерах і навколо них утворюються безліч екологічних ніш, збільшується різноманіття тваринного і рослинного світу. Деякі озера мають відносно добру воду і використовуються для питного водопостачання, а також є нормальним середовищем для риб і диких водних тварин. Створення озер збільшує біологічне різноманіття, сприяє рекреації і заняттям спортом.

Застосування кар'єрних озер для промислового риборозведення обмежене, оскільки площа мілководдя дуже мала. Оптимальною глибиною водойм для ведення такого господарства є 4 – 6 м. На глибині більше 10 – 15 м (залежно від прозорості води) зелені водорості не зростають внаслідок відсутності сонячного світла. І все ж на глибоких кар'єрних озерах організують «ферми» (рис. 8.1), розміщуючи плавучі клітки для вирощування риби [35].



Рис. 8.1. Дослідна рибна ферма на Яворівському озері

Головна господарська цінність озер полягає у наявності великих запасів води та високому рекреаційному потенціалі. Вимоги до її якості в рекреаційних водоймах зводяться до наявності кисню (і відповідно браку сірководню), а також відсутності органічного і бактеріального забруднення. Сольовий склад води не нормується. Але все ж, якщо вона випускається з озера в гідромережу, то не повинна погіршувати якість річкової води.

**Зарубіжний досвід.** Ліквідація шахт і кар'єрів та перетворення останніх в озера – це масове явище. Глибокі водойми, що утворюються на місці кар'єрів, найчастіше використовують для рекреації та спорту.

В країнах з розвинутою економікою (Німеччини, Польщі, Швеції, Китаю) кар'єрні озера стають ядрами національних парків, заповідників та заказників.

У Німеччині буровугільні кар'єри були закриті незабаром після зруйнування Берлінської стіни. В Центральній Німеччині та Лузитанському регіоні утворилося більше 100 озер. На ліквідацію кар'єрів та ревіталізацію земель було виділено 8 млрд 386 млн євро, з них 75 % з федерального бюджету і 25 % з місцевих [45]. Як результат створений цілий озерний край, який приваблює тисячі туристів (рис. 8.2).



Рис. 8.2. Озера на місці буровугільних кар'єрів у Німеччині

Одне з них, Гайерсвальдер-Зе, утворене у виробленому просторі буровугільного кар'єру Кошен, який відробляли в період з 1953 до 1972 рр. (рис. 8.3).

Реалізація проекту відновлення ландшафту виконана в 2009 році за кошти приватного інвестора. Головною атракцією новоствореного озера є плавучі будинки. Створено близько 30 об'єктів, що знаходяться як на воді, так і на суші. Це мілководдя, пляжі, спортивні майданчики, кемпінг. Озеро сполучене каналом з природним озером.





Рис. 8.3. Кар'єрне озеро Гайерсвальдер-Зе (ФРН) з плавучими будинками.  
Фото з рекламних матеріалів

Поряд з каналом із залишків гірничої техніки споруджена башта під назвою «Іржавий цвях» висотою 30 м, з якої можна оглядати околиці.

**У Швеції** кар'єр з видобутку вапняку Драггангарна мав глибину 60 м, був завдовжки 400 м та 175 м завширшки. Після припинення видобувних робіт (1990 р). на його місці в озері через 5 років облаштовано літній театр під відкритим небом Деільхалла на 4 тисячі місць (рис. 8.4). Він має унікальну акустику замкненого з чотирьох боків простору з нижньо водною основою, яка за якісними характеристиками вважається найкращою у Європі.



Рис. 8.4. Кар'єрне озеро Драггангарна у Швеції



У північній Швеції знаходиться мідний рудник Аітік, який включає два кар'єри: великий глибиною 525 м, довжиною 3 км і шириною 1 км і менший глибиною 270 м, довжиною 1 км і шириною 0,7 км. Розпочато затоплення виробок, яке згідно з прогнозом буде продовжуватися 55 років. Після їх заповнення надлишок води буде розвантажуватися в річку Ліма.

**В Польщі** створене чудове озеро в закритому в 1992 році сірчаному кар'єрі Махув (рис. 8.5). Навколо нього організовані численні установи для розваг і занять спортом. Влітку на мілководді відпочивають сотні мешканців міста Тарнобжег та навколишніх поселень (рис. 8.6).



Рис. 8.5. Кар'єрне озеро Махув (Польща)



Рис. 8.6. Літній відпочинок в кар'єрному озері Махув біля Тарнобжега

У китайському місті Сунцзян в середині заповненого водою 88-метрового кар'єру побудований найекзотичніший готель «Шімао». 16 з його 18 поверхів знаходяться нижче рівня земної поверхні, зокрема, два під водою, де гості можуть насолоджуватися величезним акваріумом. Верхній поверх знаходиться трохи вище рівня землі та має покритий флорою і фауною дах, плавно зливаючись з навколишньою територією. Він був побудований за принципом екологічної автономії: генерує свою власну енергію, опалення та освітлення здійснюється за рахунок використання геотермальної та сонячної енергії. В центральній частині готелю вбудовано водоспад, яким відвідувачі можуть милуватися зі своїх вигнутих балконів, або стрибати з «тарзанки» у воду прямо з даху будівлі.

На вершині колишнього кар'єру цементної сировини в Китаї розбудовується гірський курорт Чанша. Поряд з озером створюється розважальний центр: крижаний світ, критий лижний схил, аквапарк. Уся територія кар'єру з півдня на схід заповнена скульптурами із снігу та льоду. Над кар'єром красуються висячі сади. Вода, скелі, доріжки і пандуси, будівлі поєднуються в комплекс та відтворюють природну спадщину регіону. Унікальний відкритий простір вражає око центральним скляним конусом, який дозволяє керувати освітленням парку через світлові структури льоду на островах та на водних поверхнях. У консольному відкритому басейні-аквапарку в залі атракціонів влаштований водоспад висотою 60 м. Інтерактивний візуальний контакт з внутрішньою поверхнею снігу і льоду не залишить байдужим нікого з туристів. Окремо споруджена стометрова вежа є п'яти зірковим готелем Гранд Гарден Плаза.

**В Чехії** є багато водойм, що знаходяться на місці кар'єрів. Через відсутність природних створення озер рекреаційного призначення є пріоритетним. Поблизу Теплице є озеро Барбора площею 60 га та глибиною 50 м. Крім того, тут створено декілька малих озер: Отакар, Лібіх, Дукла та Єлизавета. На місці трьох кам'яновугільних кар'єрів знаходяться штучні водойми Чабаровіце, Мілада, Мост і Медард площею від 225 до 496 га. Озера швидко (впродовж 4 – 8 років) і керовано затоплені. Планується створити ще 5 водойм площею від 263 до 1312 га на вугільних розрізах, що будуть закриті після 2035 року [61].

Якість води в кар'єрних озерах краща, ніж у ставках. Вода слабо лужна, її прозорість влітку становить 5 – 10 м, взимку ще більше. Встановлено, що ізоляція виходів вугільних пластів не потрібна. Всі озера оліготрофні. Моніторинг показав неочікувано велике різноманіття водних організмів, наприклад 17 видів молюсків в озері Чабаровіце. Рибний запас тут становить лише 10 кг/га, що вказується оліготрофними умовами. Однак це деякою мірою компенсується наявністю риби великих розмірів, що створює привабливі умови для аматорської риболовлі.

Озеро Медард залишається у власності приватної гірничої компанії, яка бере на себе необхідні витрати. Освоєння інших озер затримується через нерегульованість системи фінансування.



**В Греції** є три буровугільні басейни: Птолемоїда-Аміндеон на півночі, Аліверіон в центральній частині і Мегалополіс в південній Греції, на Пелопонесі [40]. Особливістю геологічної будови родовищ тут є наявність у розрізі вапняків і доломітів, що обумовлює відсутність кислих вод в затоплених кар'єрах. Виробки використовують як ємності для складування золи електростанцій. Встановлено, що зола не погіршує якість води, а навпаки сприяє абсорбції важких металів.

**В Іспанії** (Галісія) розріз бурового вугілля біля муніципалітету Ас-Понтес-де Гарсія-Родрігес експлуатували протягом 3 десятиліть (1976 – 2007), видобуто було більше 260 млн т сировини. Затоплення здійснено з річки Еуме. Озеро АС-Понтес має глибину 205 м, периметр берегової лінії – 18 км. Водойма розташована в 65 км від міста Ла-Корунья. Використовується для рекреації.

**В Канаді**, (Британська Колумбія) розташований мідно-золотий рудник Маунт-Поллі, який складається із трьох кар'єрів. На першому (Спрінгер) 4 серпня 2014 р. стався аварійний прорив води із хвостосховища. Станом на травень 2016 р. він затоплений на 75 % (об'єм 15 млн м<sup>3</sup>). Використовується як сховище дренажних вод шахт. Для оцінки можливості скидання води в гідромережу після повного затоплення розроблено програмні продукти для розрахунку самого процесу та формування якості води [Beddoes].

Однак ефективно освоєння кар'єрних озер притаманне тільки країнам з розвинутою економікою, високим рівнем життя. В Південній Африці є 19 вугільних районів, зокрема, в експлуатації знаходяться Вітбанк, Єрмело, Хайвельд, розташовані в провінції Мпумаланга. Вугілля залягає у відкладах пермського періоду. Вмісні породи тут представлені пісковиками, алевролітами, аргілітами, глинистим сланцем. Пласти слабо нахилені, їх відробляють відкритим способом. На місці колишніх вугільних кар'єрів утворилося більше 110 кар'єрних озер, зокрема, у провінціях Мпумаланга та Квазулу-Натал. Більшість з них безхазяйні, жодних робіт з реабілітації тут не проводилося, оскільки водойми з'явилися ще до прийняття законів про охорону природи.

Якість води залежить від вмісту карбонатів і сульфідів у породах озерного ложа. Переважно вона тут низької якості через кисле середовище, наявність важких металів. Існують як холоміктичні, так і мероміктичні водойми [Andre].

В статті [57] описано 4 озера, що знаходяться у вугільних родовищах: А – Ватерберг, В – Хайвелья, С – Вітбанк, D – Натал. Їх глибини складають відповідно 68, 20,3, 10 м. Озера містяться в аридній зоні, де випаровування становить 2000 мм, а опади 400 мм. Об'єм водойми А дорівнює 1 млн м<sup>3</sup>. Згідно з оцінками її живлення на 90 % забезпечується підземними водами, 8 % атмосферними опадами і 2 % – поверхневим стоком. Завдяки перевазі триває зростання мінералізації води. Вода лужна, хлор-натрієва, містить 260 мг/л натрію, 348 мг/л хлору, 108 мг/л сульфат-йону. Використовується для рекреації.

Озеро В знаходиться у Мпумаланзі. Тут випаровування становить 1600 мм, а опади – 671 мм. Кар'єр частково засипаний, в залишкових виробках утво-



рилося 5 озер глибиною від 6 до 13 м. Використовуються для водопою тварин. Там же розташоване і озеро С, яке рекультивоване.

Озеро D міститься на території вугільного родовища провінції Квазулу-Натал. Тут опади і випаровування, дорівнюють одне одному – 700 мм. Водойма гідравлічно пов'язана з вугільною шахтою. Вода лужна (рН=8,1), має 240 мг/л кальцію, 600 мг/л сульфату, 2 мг/л хлору і 16 мг/л натрію. Її електропровідність змінюється в межах 176 – 290 мS/m (відповідає 1126 – 1856 мг/л). Всі кар'єрні озера оліготрофні. В них виявлений фітопланктон, середні концентрації хлорофілу становили від 5 до 12 мкг/л.

### Використання кар'єрних озер для рекреації в Україні.

Переважно береги озера – колишні борти кар'єру – дуже стрімкі. Якщо породи, що їх складають, піддаються розмиву, внаслідок абразії утворюється прибережна мілина шириною від 10 до 30 м. За умови, коли вони складені скельними породами, уступи залишаються вертикальними. На бермах часто накопичуються глиби, що створює небезпеку для відпочивальників. Виникає необхідність формування штучних мілководь шляхом розноски бортів.

Невирішеною проблемою є запобігання нещасним випадкам на водоймах. Згідно із статтею 336 кримінального кодексу України «порушення правил екологічної безпеки при експлуатації і ліквідації підприємств і споруд, якщо це спричинило загибель людей або інші важкі наслідки, карається позбавленням волі і права займати керівні посади». Однак цей нормативний акт не діє. Хоч на берегах озер і встановлюють щити з написом «Купатися і ловити рибу заборонено», проте на них ніхто не звертає уваги.

Наявність мілини визначає рекреаційну місткість новоутворених озер. За нормативами кожний гектар мілководдя забезпечує 200 рекреантів [28]. При його створенні слід спиратися на вимоги безпеки до пляжів, місць масового відпочинку на водоймах згідно з «Правилами охорони життя людей на водних об'єктах України», затверджених Наказом № 272 Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи 03.12.2001 р. При цьому необхідно дотримуватися таких принципів (рис. 8.7):

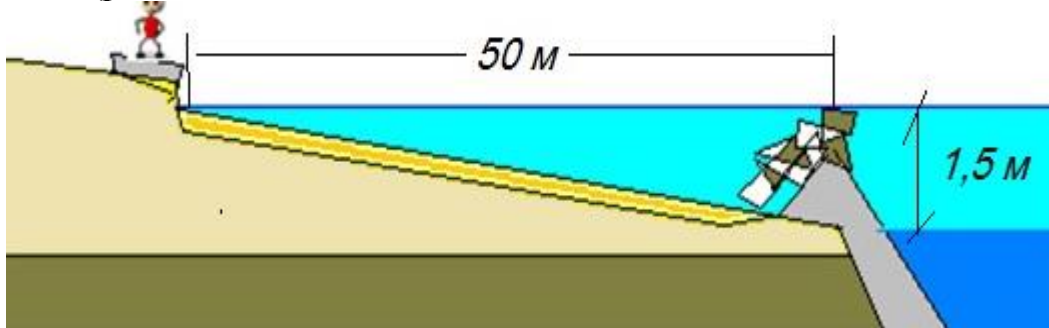


Рис. 8.7. Оптимальний профіль берегів для купання

- глибина води в зоні водного об'єкта, що прилягає до пляжу та відведена для купання, повинна бути не більше 1,5 – 1,75 м;
- ширина смуги зони водного об'єкта, відведеної для купання, не може пере-

вищувати 50 м від берега; для занять водними видами спорту, організації пунктів прокату плавзасобів, катання на човнах, водних мотоциклах і катерах, водних атракціонів, аматорського і спортивного рибальства не повинна знаходитись у межах ділянки, де люди купаються;

– дно акваторії має бути рівним, щільним, з пологим спуском без уступів, піщаним, гравійно-піщаним або дрібногравійним (за необхідності спеціально готується), вільним від баговиння, водоростей, очищеним від корчів, брухту та інших предметів, що можуть бути небезпечними для життя та здоров'я відпочивальників;

– якість води повинна відповідати вимогам чинних санітарних норм.

Місця масового відпочинку людей на водних об'єктах:

– обладнуються під'їзними шляхами та спусками на воду рятувальних засобів з встановленням відповідних покажчиків (написів) для аварійно-рятувальних служб, під'їзди та спуски мають бути вільними від громадського транспорту;

У місцях масового відпочинку людей на водних об'єктах виокремлюється ділянка акваторії не менше 10 % від її загальної площі з глибиною не більше ніж 1,2 м для купання осіб, які не мають навичок плавання, дітей та інвалідів.

Обмеження, припинення або заборона експлуатації водних об'єктів для купання, масового відпочинку людей, плавання на маломірних плавзасобах, спорту та туризму або інших рекреаційних цілей проводиться відповідно до вимог Водного кодексу України та цих Правил з обов'язковим оповіщенням людей через засоби масової інформації.

В Україні існують десятки затоплених глибоких кар'єрів, які нерегульовано та нелегально використовуються у рекреаційний спосіб. На Львівщині такими є озера на місці Ясницького піщаного, Розвадівського глиняного, Яворівського, Роздільського і Подорожненського сірчаних кар'єрів. В Івано-Франківській області в стадії затоплення перебуває Домбровський калійний кар'єр.

**Ясницький піщаний кар'єр** відрізняється тим, що пісок там вище рівня води видобували традиційним способом із застосуванням екскаваторів, а нижче рівня ґрунтових вод – земснарядами. Озеро складається із трьох басейнів, розділених дамбами (рис. 8.8). Західний оточений лісом і є найпривабливішим для відпочивальників. Східні межують із селом і городами. Глибина кар'єру – на більшій площі близько 10 м. Береги стрімкі, пляжна зона не перевищує 5 – 7 м. На березі встановлені щити з гаслом «купатися заборонено», що не заважає це робити сотням рекреантів. Ясницьке озеро знаходиться лише в 16 км від центру Львова, що забезпечує можливість створення тут зони рекреації для жителів міста. Однак до цього часу його використання не впорядковане.



Рис. 8.8. Озеро в Ясниському піщаному кар'єрі

**Розвадівський кар'єр** побудований 1960 року для постачання глини Миколаївському цементному заводу. В геологічному розрізі місцевості тут наявні поклади гіпсоангідриту. Осушення кар'єру викликало інтенсифікацію гіпсового карсту, приплив води збільшився, тому навіть був втрачений поверхневий стік річки Зубра. Карстові деформації загрожували залізничній магістралі Київ – Чоп, і в 1982 році було прийнято рішення про припинення водовідливу. Після того впродовж 8 років траплялися поодинокі випадки карстових провалів, потім територія стабілізувалася.

Кар'єр швидко заповнився підземними водами карстового горизонту, стік річки відновився. Озеро, що утворилося, називають Задорожним. Його глибина становить близько 27 м, ширина мілководдя – близько 15 м. Вода слабо мінералізована (2,7 г/л), сульфатно-кальцієва. Східний і південний береги межують з дачними ділянками. Частина західного використовується як пляж. Близкість до Львова, наявність доброї дороги забезпечують популярність озера.

**Яворівське озеро** створене на місці кар'єру з видобутку сірчаної руди. Основні параметри водойми: площа водного плеса – 610 га, об'єм води – 187,8 млн м<sup>3</sup>, довжина – 3,5 км, ширина – 2,7 км, максимальна глибина – 70 м, протяжність зовнішньої межі прибережної захисної смуги – 13 км, площа земель прибережної захисної смуги – 147 га. Інститутами «Гірхімпром» та «Містопроект» розроблені пропозиції з освоєння рекреаційного потенціалу Яворівського озера. Регіональна рекреаційна зона площею близько 4000 га прилягає до земель міста Яворів та сіл Залужжя, Цетуля, Новий Яр. На сході озеро межує з промислово-виробничими територіями та їх під'їзними дорогами. Новою концепцією передбачено створення багатофункціональних відпочинково-спортивних, культурно-виховних комплексів при забезпеченні природоохоронних і ландшафтно-відновлювальних заходів на території рекреаційної зони і прилеглих до неї сільськогосподарських угідь та лісів.



Особлива увага приділяється збереженню і відновленню місцевих традицій Яворівщини, зокрема, топонімів, назв втрачених сіл, урочищ, пам'ятних місць. Композиційним ядром рекреаційного центру є найбільше на Львівщині озеро. Вигідне його розташування, наявність якісних доріг – все це сприяє високоефективному застосуванню відновлених територій і акваторій. Вода Яворівського озера може також використовуватися як джерело мінеральних сульфідних і сульфатних вод. Однак до цього часу проект не реалізовано. Особливе значення для створення умов розвитку фізичної культури і водних видів спорту в західних областях України і власне на Львівщині має пропозиція про будівництво тут каналу. Він буде придатним для організації тренувань та змагань з веслування на байдарках, каное та інших видів водного спорту. Згідно з нормативами канал має бути прямим глибиною 1,5 – 2 м, шириною від 200 до 400 м і довжиною до 2 км.



Рис. 8.9. Долина річки Шкло – найкраще місце для спорудження веслувального каналу

Такі спортивні локації завжди у дефіциті, вони є в Москві (РФ) і Познані (оз. Мальта в Польщі). Нещодавно канал з'явився у Бресті (Білорусь). Планується будівництво в Нижньому Новгороді (РФ). В Україні єдиний веслувальний канал розташований у Дніпрі, проте він не відповідає міжнародним стандартам.

Умови для спорудження каналу в Яворівському районі забезпечуються наступними чинниками:

- наявність у користуванні державного підприємства вільних від забудови порушених гірничими роботами земель;
- вивільнені після закінчення гірничих робіт крокуючі екскаватори дозволяють з найменшими витратами виконати земельні роботи;

– можливість сумістити спорудження каналу з видобутком ґрунту для будівництва міжнародної автотраси Краковець – Львів, що планується.

Веслувальний канал дозволить збільшити рекреаційну привабливість майбутнього відпочинкового комплексу на базі Яворівського озера, проводити міжнародні змагання, вирішити соціальні проблеми району, населення якого втратило робочі місця через закриття сірчаних рудників.

**Роздільські озера** знаходяться в 60 км на південь від Львова біля міста Новий Розділ. На місці Північного кар'єру з видобутку сірчаної руди створений каскад з трьох озер придатних для рекреації. Для цієї території на конкурсній основі розроблено ландшафтно-архітектурні рішення (рис. 8.10). З півночі до озер прилягає великий лісовий масив, який органічно зливається з зоною рекреації.

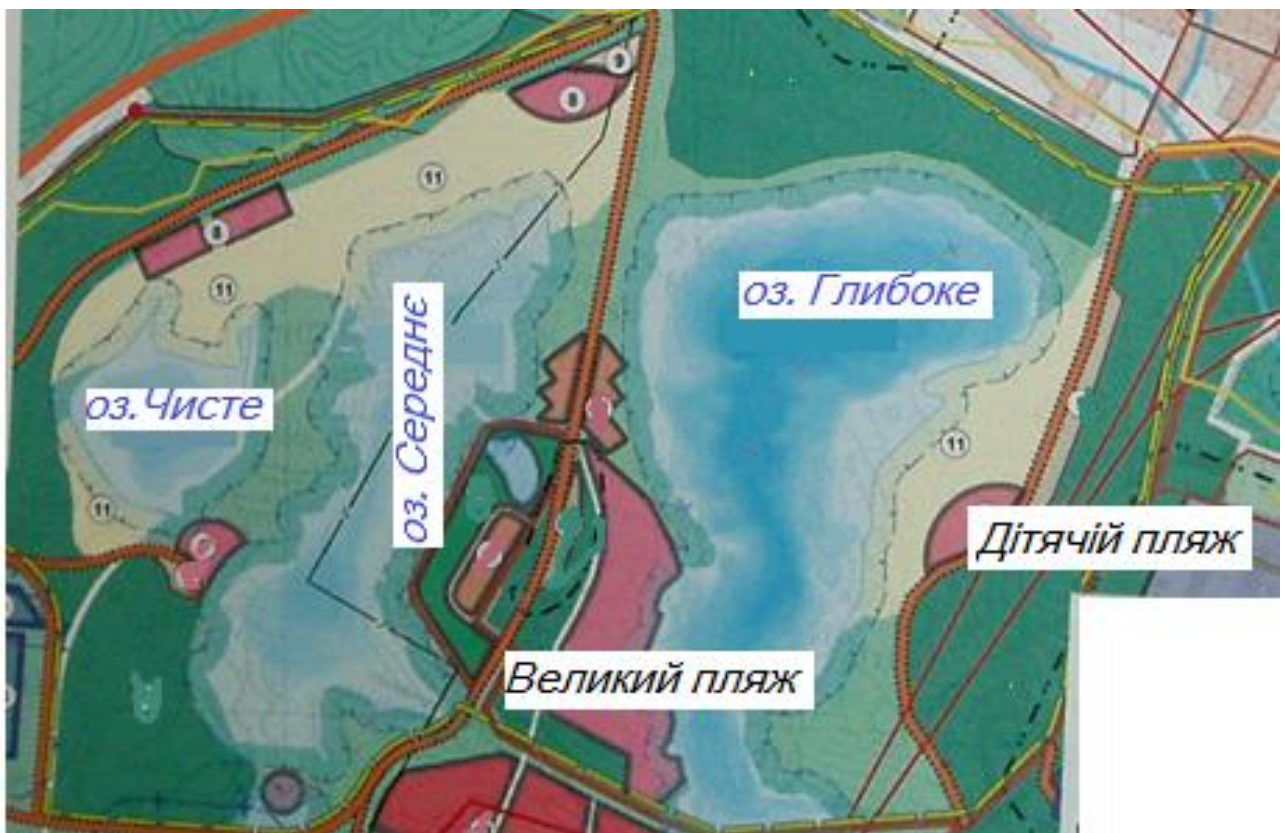


Рис. 8.10. Озера в Новому Роздолі

Головним напрямом застосування Роздільських озер буде рекреаційна діяльність. Для безпеки відпочивальників необхідно перш за все створити мілководдя, а також прокласти пішохідні доріжки.

Велика глибина озера Глибокого виключає можливість його використання для промислового виборозведення. Воно найбільше підходить для водного спорту. Озера Середнє і Чисте мають глибину до 10 м, це найкращі умови для зариблення. Однак підвищений вміст сульфат-йону ставить під сумнів промислове виборозведення. Тому вони підійдуть для купання і аматорської риболовлі.



Перешийок між озерами Глибоким і Середнім застосовується для розміщення на його західній стороні великого пляжу, на східній – парку з фонтанами. Тут передбачається автомобільна стоянка і наметове містечко для відпочинку у вихідні дні. На внутрішніх відвалах доцільно створити парк з використанням існуючих форм мікрорельєфу.

Західні береги Середнього і Чистого з прилеглою територією відводяться для аматорської риболовлі і полювання взимку.



Рис. 8.11. Озеро Глибоке біля Нового Роздолу

Необхідною умовою раціонального використання озер є ліквідація тимчасового сміттєзвалища і звалища гудронів, встановлення прибережної захисної смуги, заборона будівництва у водозбірному басейні будь-яких об'єктів без очисних споруд.

Деякий час вважалося, що територія навколо міста Новий Розділ настільки забруднена, що там можна тільки відновлювати промисловість. Проте щоб жити достойно, необхідно гармонічно поєднувати розвиток підприємств з екологічним комфортом для людей.

**Подорожненське озеро** міститься в Жидачівському районі Львівської області на відстані 100 км від Львова і 25 км від м. Жидачів.



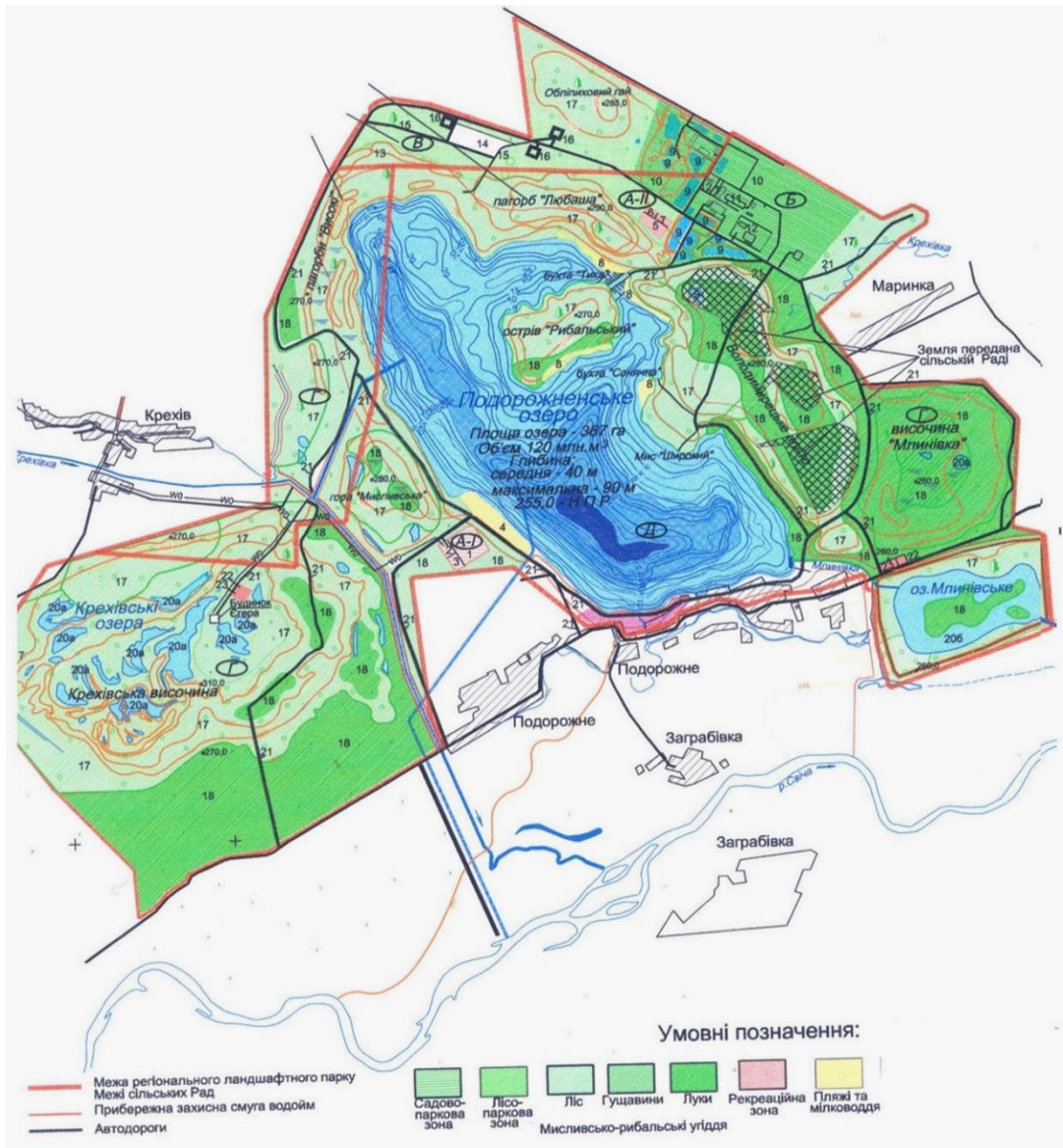


Рис. 8.12. Схема зонування території Подороженського ландшафтного парку

В зоні діяльності колишнього сірчаного кар'єру на порушених землях сформовано унікальний природно-техногенний ландшафт площею близько 15 км<sup>2</sup>. Головним його елементом є найглибше в Україні Подороженське озеро площею 420 га, об'ємом 124 млн м<sup>3</sup> і глибиною до 75 м (рис. 8.13).

З півночі в водойму впадає річка Крехівка. На південному березі вона витікає через штучний канал у річку Свіча. Вода в ній чиста, відрізняється малою мінералізацією. Тому висока якість притаманна і воді Подороженського озера. За повідомленням місцевих жителів в цій водоймі вже нараховується 18 видів риби: короп, сазан, плітка, краснопірка, карась, окунь, щука, сом, лин, товстолобик тощо. Подороженське є резервуаром високоякісної води, збереженню якої сприяє надання території статусу природоохоронного об'єкта.

Навколо озер піднімаються зарослі лісом пагорби – колишні зовнішні відвали. Вони займають площу 600 га. Найвищим – до 60 м – є гора Крехівська. На ній в безстічних заглибленнях утворилося близько 30 різноманітних за гли-

биною і площею озерець. Ці водойми мають важливе значення для збереження популяцій рідкісних водоплавних видів птахів.



Рис. 8.13. Унікальний мальовничий ландшафт Подорожненського озера

Для збереження і розвитку унікального техногенно-природного ландшафту пропонується надати території Подорожненського рудника статус регіонального ландшафтного парку. Це дозволить гармонійно поєднати збереження біологічного та ландшафтного різноманіття зі створенням умов для туризму і відпочинку. Такий варіант використання порушених земель є найдешевшим і відповідає пріоритетному напрямку екологічної політики в Україні, а також регіональним потребам. Межі майбутнього ландшафтного парку співпадають з земельним відводом колишнього сірчаного рудника. Площа цієї території 2180 га.

Загалом природно-техногенний ландшафт у зоні діяльності Подорожненського рудника і навколо нього за своєю різноманітністю та багатством флори і фауни не поступається найкращим природним утворенням і має велику цінність. Однак до цього часу рекреаційна діяльність тут не впорядкована.

**Домбровське озеро** знаходиться поряд з містом Калуш, де у минулому діяв потужний комплекс гірничо-хімічної промисловості (рис. 8.14). Водойма формується в колишньому кар'єрі з видобутку калійно-магнієвої руди. Після повного затоплення Домбровське досягне площі близько 120 га, довжини два і ширини один кілометр. Воно буде одним із найглибших озер України: глибина у південній частині сягатиме 120 м, а у північній – 55 м. Наявність такої водойми створить умови для розвитку в Калуші різноманітних видів водного спорту: вітрильного, веслувального, моторного.



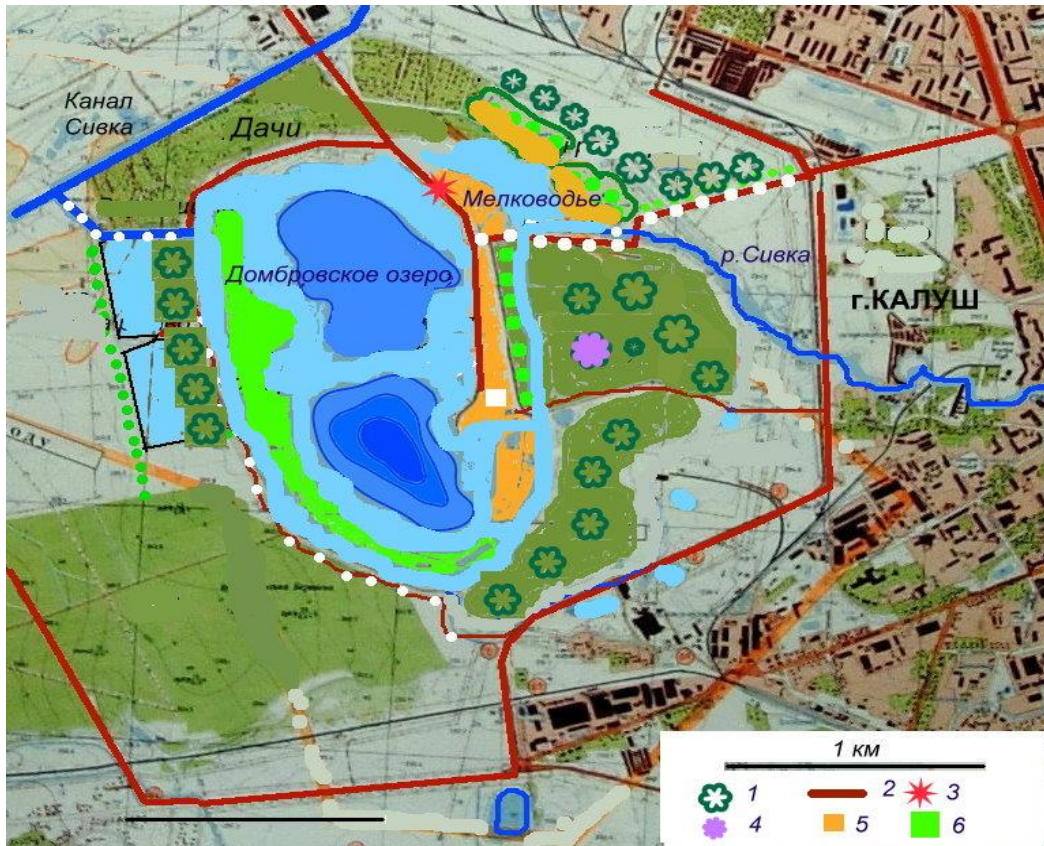


Рис. 8.14. Схема зони рекреації на базі Домбровського озера. 1 – декоративні лісонасадження, 2 – дороги, 3 – служба рятувальників, 4 – оглядовий майданчик, 5 – пляж, 6 – безлюдний острів

Вже нині озеро навідує численні туристи, учні, студенти (рис. 8.15). Воно може бути також джерелом мінеральних вод, аналогічних моршинським. При цьому на різній глибині розсоли мають різну мінералізацію. Розроблено попереднє обґрунтування створення рекреаційно-оздоровчого комплексу загальною площею близько 150 га.



Рис. 8.15. Туристи на Домбровському озері



В межах Українського кристалічного щита містяться затоплені кар'єри в вивержених породах: гранітах, базальтах, габро і корах вивітрювання.

Наприклад в Житомирській області широко відомі Пашинський гранітний кар'єр (рис. 8.16), що знаходиться в 3-х км від Коростеня, а також Коростишівський. Пашинське озеро має овальну форму розміром 300x100 м і глибину близько 54 м. Завдяки тому, що скельні береги не розмиваються, вода в ньому дуже чиста і прозора, просвічується сонцем на глибину до 20 м, що приваблює дайверів. Під час занурення можна насолоджуватись мальовничими скелями та спостерігати залишки гірничої техніки.



Рис. 8.16. Озеро в Пашинському кар'єрі

У Коростишівському кар'єрі, починаючи з 1850 року, видобували лабрадорит, габро і граніт. Відомо, що радянськи часи саме з нього дістали моноліт з лабрадориту для відомого московського мавзолею. Озеро має глибину близько 20 м. Високі (до 10 м) вертикальні береги нагадують прекрасні пейзажі Карелії. На їх тлі знімали натуру для кінофільмів, зокрема, телесеріалів «Нюхач» та «Відьма». Озеро знаходиться на відстані 100 км від Києва, що заохочує велику кількість туристів.

У Рівненській області подібні властивості має озеро Базальтове, розташоване в урочищі Янова Долина поблизу села Базальтове (рис. 8.17). За повідомленням місцевих жителів кар'єр затоплений ще 1903 року. Глибина водойми за різними джерелами становить від 9 до 15 м. В його центрі є зарослий деревами маленький острівець, дуже привабливий для відпочинку. Неподалік від озера знаходиться інший кар'єр, який тільки-но припинив діяльність. Вже розпочалося його заповнення ґрунтовими водами.



Рис. 8.17. Озеро Базальтове

На Вінниччині великою популярністю користується озеро в затопленому у 80-ті роки гранітному кар'єрі Губник. Дуже популярна водойма Черепашинське озеро, що міститься в Калинівському районі біля села Черепашинці на відстані 40 км від Вінниці. Назва озера пов'язана із спогадами про розташування тут болотистої місцевості, в якій водилося багато черепах. Кар'єр з видобутку білої глини (каоліну) закрили у дев'яності роки. Він затоплений переважно атмосферними, частково ґрунтовими водами. Озеро дуже чисте. На дні за повідомленням місцевих жителів залишилася гірничча техніка. Глибина водойми досягає ста метрів. Береги стрімкі (мілководдя немає), заросли змішаним лісом, частину дерев затоплено.

Жодної інфраструктури біля озера не організовано.

Мигійське (Блакитне) озеро знаходиться в Миколаївській області біля села Мигія. Воно є частиною національного парку Бузький Гард. Глибина водойми – 40 метрів. Імовірно вода тут містить радон, тому купатися в ній рекомендується не більше 10 хвилин. Береги озера – мальовничі вертикальні скелі.

**Озера в кар'єрах з видобутку піску** також характеризуються чистою водою і дуже популярні. Наприклад, на Чернігівщині біля села Олешня в піщаних виробках утворилося чотири озера, з яких найбільше має площу 25 га і глибину близько 20 м (рис. 8.18). Оточені сосновими лісами та широкими піщаними пляжами вони щорічно приваблюють орієнтовно 200 тисяч вітчизняних та іноземних туристів. Поряд з озером облаштовані дві зони відпочинку – атракціони, спортивні майданчики та ін. Глину з меншого озера використовують в бальнеологічних цілях.





Рис. 8.18. Озеро в піщаному кар'єрі біля Олешні

Широко відомі також озера у провалах над колишніми соляними шахтами. Рекреаційна і бальнеологічна діяльність, яка базується на застосуванні розсолів, має велике соціально-економічне значення. Великою популярністю користується Слов'янський курорт державного значення. Одна з найстаріших бальнеогрязевих здравниць України функціонує вже понад 175 років. Унікальність Слов'янських озер полягає в тому, що вони мають риси як прісноводних сапропелевих, так і мінералізованих сульфідних мулових грязей. Там же, в Донецькій області 1941 року було затоплено Шевченківський соляний рудник. Над ним утворилася серія провалів діаметром 30 – 50 м і глибиною близько 30 м. Озера, незважаючи на заборони, приваблюють сотні відпочивальників і спортсменів (рис. 8.19).

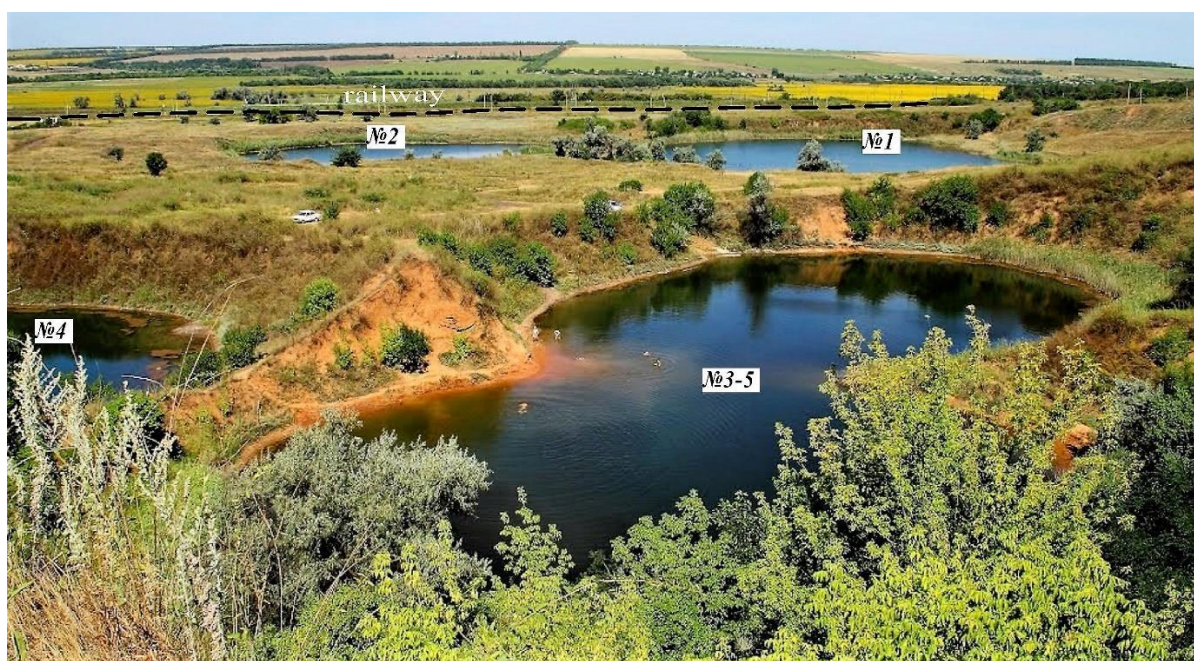


Рис. 8.19. Озера в провалах над шахтою ім. Шевченка в Соледарі



В Україні є ще багато кар'єрних водойм, які зовсім не використовуються. В Дніпропетровській області затоплено залізородний кар'єр №1 Новокриворізького ГЗК (рис. 8.20). Його розміри за поверхнею становлять 945х986 м, а об'єм виробленого залишкового простору – 36,6 млн м<sup>3</sup>.



Рис. 8.20. Затоплений кар'єр №1 Новокриворізького ГЗК

На Кіровоградщині затоплено буровугільні розрізи «Олександрівугілля»: Морозівський, починаючи з 2006 р., Костянтинівський (2009 р.). В першому кар'єрі вода піднялася на 20 м, в другому – на 3 м. В деяких вугільних розрізах залишена потужна гірничо-технічна (рис. 8.21).

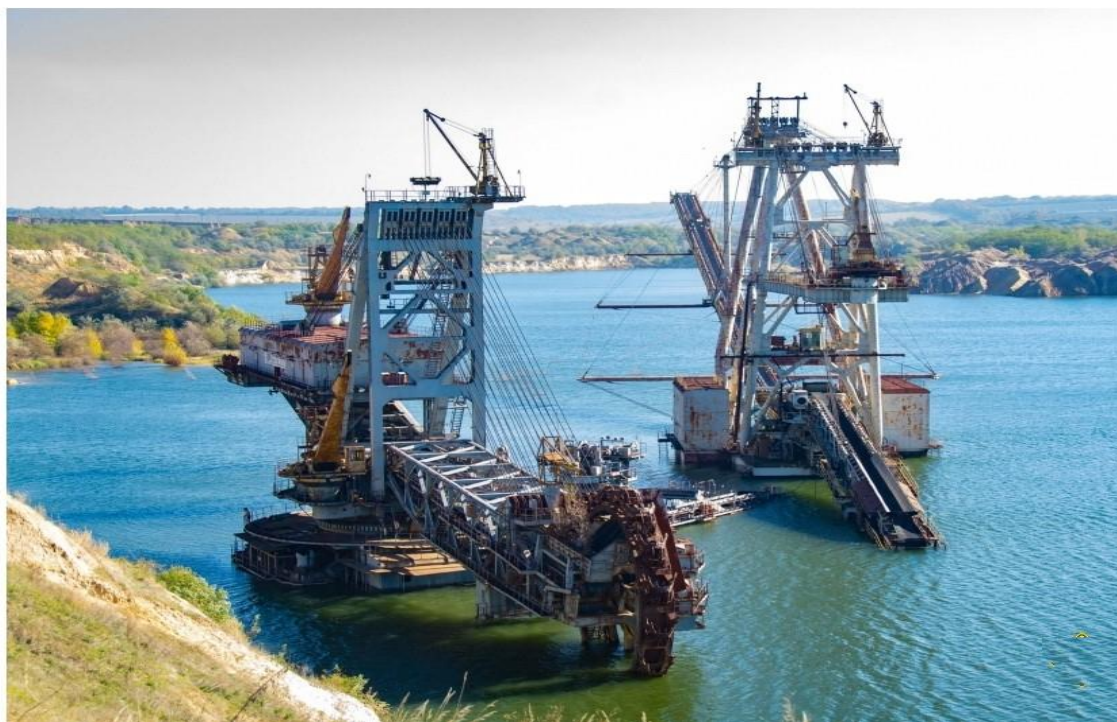


Рис. 8.21. Затоплений вугільний розріз Костянтинівський

### Озера як джерела водопостачання.

На землі немає важливішого природного ресурсу, ніж вода. Одним з головних напрямків використання кар'єрних озер є водопостачання. Як зауважив О.Н. Толстіхін [29], «водна криза планети може виявитись значно небезпечнішою за енергетичну – джерела енергетичної сировини взаємозамінні, води – ні». Вода є сутністю всього живого – кожної рослини, тварини і людини на планеті. За даними ООН смертність в усьому світі від хвороб, зумовлених забрудненою водою, є більшою ніж від усіх війн та насильства. Щогодини від цієї напасти гинуть 240 дітей. 1,5 млн малят до п'яти років щорічно помирають від холери та черевного тифу через антисанітарні умови водних джерел.

В Україні через наслідки глобального потепління (за останні 100 років – 0,65°) зростає роль озер як джерело води для систем поливного землеробства. Раніше потепління проходило за рахунок астрономічних факторів, змін елементів земної орбіти. Сучасне викликано перш за все парниковим ефектом.

За розрахунками спеціалістів [5] існує велика ймовірність катастрофічного зміщення зони напівпустель і пустель до південно-східних регіонів України. Якщо потепління досягне 3 – 4° це викличе зневоднення цих територій і створить проблеми у сільському господарстві. Тому наявність кар'єрних озер з великими запасами води набуде великого значення. Однак для цього важливо забезпечити необхідну їй якість.

Показники якості залежать від цільового призначення. Наказом Міністерства екології та природних ресурсів України від 31.03.1998 р №44 введена в дію „Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями”, яка є офіційним міжвідомчим нормативним документом. Вона гармонізована з природоохоронним законодавством ЄС стосовно водної політики.

Показники якості поділяють на сім категорій: 1) відмінні, 2) дуже добрі, 3) добрі, 4) задовільні, 5) посередні, 6) погані, 7) дуже погані. В нормативах ЄС розрізняють п'ять класів якості: 1) відмінні, 2) добрі, 3) задовільні, 4) погані, 5) дуже погані. Українські категорії 2 і 3 відповідають європейському класу 2, категорії 4 і 5 – класу 3.

В основу методики покладено екосистемний підхід, котрий передбачає оцінку води за показниками трьох блоків: 1 – галобності – вмісту солей, 2 – трофності і сапробності – вмісту поживних і розкладених органічних речовин, 3 – токсобності – вмісту речовин токсичної та радіаційної дії.

За критерієм мінералізації поверхневі води поділяють на прісні (до 1 г/л), солонуваті (до 30 г/л), солоні (більше 30 г/л).

Солонуваті в свою чергу – на  $\beta$ -мезогалінні (1 – 5 г/л),  $\alpha$ -мезогалінні (5 – 18 г/л) і полігалінні (18 – 30 г/л). Наприклад, вода Яворівського озера солонувата  $\beta$ -мезогалінна.

Класифікація якості за мінералізацією наведена в табл. 8.1.

Таблиця 8.1

Класифікація якості поверхневих вод суші та естуаріїв за критерієм мінералізації

Клас якості вод	Прісні води – I		Солонуваті води – II			Солоні води – III	
	Гіпогалінні – 1	Олігогалінні – 2	$\beta$ -мезогалінні – 3	$\alpha$ -мезогалінні – 4	Полігалінні – 5	Еугалінні – 6	Ультрагалінні – 7
Мінералізація, г/л, %	<0,5	0,51–1,00	1,01–5,00	5,01–118,00	18,01–30,00	30,01–40,00	>40,00

Вода з мінералізацією 1 – 5 г/л відноситься до солонуватих  $\beta$ -мезогалінних. Основними показниками хімічного складу солонуватої води, які визначають придатність її для використання, є загальна мінералізація, вміст хлориду і сульфат-йонів. За цими показниками розрізняють категорії солонуватих вод, (табл. 8.2.)

За сапробністю водного середовища розрізняють води полі-, мезо- та олігосапробні. В евфтрофних озерах середній вміст біомаси – від 10 до 40 г/м<sup>3</sup>, в гіпертрофних – до 900 г/м<sup>3</sup>.

Полісапробна: кисню нема, багато нерозкладених білкових речовин, наявні H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, сотні млн/л мікроорганізмів.

Таблиця 8.2

Класифікація якості солонуватих  $\beta$ -мезогалінних вод за критеріями сольового складу

Клас якості вод	I		II		III		IV	V
	1	2	3	4	5	6	7	
Категорія якості вод								
Показники, мг/л								
Сума іонів	1000–1500	1501–2000	20001–2500	2501–3000	3001–3500	3501–4000	>4000	
Хлориди	≤200	201–400	401–600	601–800	801–1000	1001–1200	>1200	
Сульфати	≤400	401–800	801–900	901–1000	1001–1100	1101–1200	>1200	

Мезосапробна: відсутні нерозкладені білкові речовини, мало H<sub>2</sub>S і CO<sub>2</sub>, достатньо O<sub>2</sub>, наявні NH<sub>3</sub> і CH<sub>4</sub>. Поділяється на  $\alpha$ -мезосапробну і  $\beta$ -мезосапробну. В першій воді розвиваються організми, стійкі до браку кисню,



але риби в ній практично не живуть. В другій окисненні багато, тут вистачає водних організмів з рибою включно.

Олігосапробна: чиста,  $H_2S$  відсутній, вміст кисню близький до насичення, мікроорганізмів мало, вода не цвіте, в ній живуть холодолюбні риби: форель, краснопірка, сиг, ріпус.

Після оцінки якості води одержують відповідь на питання можливості її використання для різних потреб. За критеріями сольового складу даються окремі класифікації для прісних і солонуватих вод.

Вимоги до прісної питної води в Україні регулюються ДСанПіН 2.2.4-171-10. Згідно з ним концентрації хімічних речовин у питній воді не повинні перевищувати нормативів, вказаних в табл. 8.3.

Таблиця 8.3

## Основні нормативні показники питної води

Назва хімічної речовини	Норматив мг/л	Метод випробування	
1	2	3	
Алюміній залишковий (Al), мг/л	0,5	ГОСТ 18165-81	
Бензапірен, мг/л	0,000005		
Бензин, керосин мг/л,	0,1		
Берилій (Be), мг/л	0,0002	ГОСТ 18294-81	
Діоксин, ( $C_{12}H_4O_2Cl_4$ ), мг/л	0,000035		
Марганець, кобальт, вісмут, барій, цинк, залізо	0,1		
Молібден (Mo), мг/л	0,25	ГОСТ 18308-72	
Миш'як (As), мг/л	0,05	ГОСТ 4152-81	
Нітрати ( $NO_3$ ), мг/л,	45,0	ГОСТ 18826-73	
Нітриди ( $NO_2$ ), мг/л	3,3		
Поліакриламід, залишковий мг/л,	2,0	ГОСТ 19355-74	
Ртуть, мг/л,	0,0005		
Свинець (Pb), мг/л, не більше	0,03	ГОСТ 18293-72	
Селен (Se), мг/л, не більше	0,001	ГОСТ 19413-81	
Стронцій (Sr), мг/л, не більше	7,0	ГОСТ 23950-80	
Фенол, мг/л	0,001		
Фосфор	3,4		
Фтор (F), мг/л, не більше для кліматичних районів:	1 і 2	1,5	ГОСТ 4386-81
	3	1,2	
	4	0,7	
Хром, нікель, мідь, вольфрам	0,01		

Сума концентрацій хлоридів і сульфатів, що відображена в частках ГДК кожного із компонентів, не повинна перевищувати 1. За узгодженням з органами санітарно-епідеміологічної служби допускається до вживання вода з мінералізацією до 1500 мг/л, твердістю до 10 мг-екв./л, вмістом заліза до 1 мг/л, марганцю до 0,5 мг/л. Значна концентрація хлору в воді викликає хворобливі зміни в організмі і негативно впливає на шкіру. Сульфат-йон для людини і теплокровних тварин малотоксичний, але при концентрації 1000 – 2000 мг/л спонукає розлади шлунково-кишкового тракту. Проведений В.М. Шестопаловим і Н.Б. Овчинниковою [32] статистичний аналіз залежності онкологічної захворюваності від складу хімічного води показав, що найнижчий її рівень спостерігається в районах з сульфатним типом води.

Людина може визначати смак води з мінералізацією до 3 г/л. Разове вживання її не спричиняє до негативного впливу на самопочуття. Найкращою для пиття вважається вода з мінералізацією близько 500 мг/л.

Окрім хімічних властивостей, на якість води впливає її ізотопний склад. Вміст дейтерію у звичайних поверхневих водах становить близько 0,014 г/л.

За В.М. Шестопаловим [32] вода з високими показниками дейтерію (важкого водню) негативно впливає на геном клітин, гальмує швидкість біохімічних реакцій і поділ клітин та ініціює мутації. Але наявність сірководню сприяє зменшенню дейтерію, оскільки  $H_2S$  миттєво обмінює свій протій на нього.

Детальний аналіз інформації про вплив якості води на людський організм наведений в двотомній монографії «Вступ до медичної геології» за редакцією Г.І. Рудька та О.М. Адаменка [6]. Вплив вмісту мікроелементів у воді двоякий: брак або надлишок мікроелементів може зумовити захворювання. Найбільш небезпечними є арсен, кадмій, ртуть, свинець, ванадій, селен.

Підвищений вміст заліза в питній воді дає чорнильний присмак, мішає її використанню для питних і господарських потреб. Сполуки марганцю – сильні яди. Вони діють на центральну нервову систему, легені, печінку, кров, викликають важкі зміни в організмі. Попадання ацетату чи сульфату міді в шлунок спонукають його розлади, болі в животі та інші захворювання. Вміст у питній воді міді більше 1 мг/л токсично впливає на сільськогосподарських тварин.

Більше 2 мг/л цинку надає воді специфічного присмаку. При 30 мг/л його елемента вона стає непридатною для пиття за смаком і каламутністю, отримує молочний колір. А при вмісті 10 – 20 мг/л вважається канцерогеном.

Зі сполук алюмінію найбільш токсичні є хлориди, нітрати, ацетати і сульфіді. За ступенем токсичності вони прирівнюються до миш'яку, нікелю, міді і марганцю.

За мікробіологічними показниками вода повинна відповідати наступним вимогам: число мікроорганізмів в 1 мм<sup>3</sup> води – не більше 100, число бактерій групи кишкових паличок – не більше 3 на 1 л води.

У виробництвах харчової промисловості (пивоварні, винокурні, крохмальні заводи, текстильні й паперові фабрики) до води ставляться такі самі вимоги, як і для господарсько-питної, а іноді й вищі.

**Використання кар'єрних вод для зрошення.** З усіх земель в Україні, які застосовують під сільськогосподарські угіддя, приблизно 60 % потребують зрошення. Регулювання якості води для цього процесу здійснюється згідно з ДСТУ 2730-94 «Єдина система у галузі охорони навколишнього середовища та раціонального використання ресурсів. Якість природної води для зрошення». Стандарт встановлює агрономічні критерії, показники і параметри оцінки якості природних поверхневих і підземних вод, що застосовуються для зрошення всіх типів ґрунтів і сільськогосподарських культур.

Відповідно до ГОСТ 17.1.2.03 визначають якість води для зрошення за її впливом на:

- ґрунти з метою збереження і підвищення родючості, а також запобігання процесів засолення, осолонцювання і підлуження;
- урожайність с/г культур;
- якість с/г продукції.

Під час оцінювання якості зрошувальної води виділяють:

- I клас – «придатна»;
- II клас – «обмежено придатна».

Вода більш низької якості, показники якої виходять за межі значень II класу, не придатна для зрошення без попереднього покращення її складу.

Критерії оцінювання включають такі показники: вміст іонів, натрію, кальцію, магнію, хлору; лужність, жорсткість, рН, температуру. Оцінювання за небезпекою вторинного засолення ґрунтів слід здійснювати на основі показника загальної концентрації токсичних іонів з урахуванням гранулометричного складу ґрунтів відповідно до даних табл. 8.4.

Таблиця 8.4

Оцінювання якості зрошувальної води за небезпекою вторинного засолення ґрунту

Концентрація токсичних іонів за групами ґрунтів, мг-екв/дм <sup>3</sup>				Клас якості води	
Піщаний та супіщаний ґрунт			Легко- та середньосуглинковий		Важкосуглинковий та глинистий
Менше 15			Менше 10	Менше 55	I
15	10	5	II		
–	–	–			
40	30	25			



Мінералізація води, яку використовують в іригаційних системах для зрошення сільськогосподарських угідь, не може перевищувати  $1,5 \text{ г/дм}^3$ . У разі незадовільних умов дренажу і фільтраційних властивостей ґрунтів уміст солей у поливній воді не повинен бути більше за наведену вище норму. Підвищена мінералізація зумовлює засолювання ґрунтів та зменшення врожаю. Хлорид натрію та сульфати натрію і магнію, особливо карбонат натрію, засолюють ґрунти і роблять їх непридатними для рільництва. Воду з помірним умістом сульфату кальцію і карбонату магнію можна використовувати для зрошення.

В Україні впродовж декількох десятиліть застосовують для поливу сульфатні кальцієві шахтні води Донбасу з мінералізацією 3 – 4 г/л. При цьому досягались добрі урожаї овочів. Проте за довгий час бездренажного зрошення внаслідок осолонцювання ґрунтів урожайність впала.

Вода, яку використовують для напування тварин і птиці, має відповідати вимогам якості для господарсько-питних цілей. Однак такі показники, як кольоровість, прозорість і запах, можуть бути дещо нижчими. Температура води має становити від 8 до  $15^\circ\text{C}$ .

Вода для промислового риборозведення потребує дуже високої якості. ГДК деяких шкідливих речовин у водоймах рибогосподарського призначення наведено в табл. 8.5.

Таблиця 8.5

ГДК шкідливих речовин у водоймах рибогосподарського призначення

Речовина	ГДК, мг/л	Речовина	ГДК, мг/л
1	2	3	4
Аміак	0,05	Сірковуглець	1,0
Бензол	0,01	Смолисті речовини, що вилучаються з деревини хвойних порід	2,0
Кадмій	0,5		
Магній	0,005		
Мідь	40,0	Таніди	10,0
Натрій	120	Фтор	0,75
Нафта і нафтопродукти		Феноли	0,001
в розчинному стані	0,001	Хлор вільний	0
в емульгованому стані	0,05	Хлорофос	0
Нікель	0,1	Цинк	0,05
Свинець	0,1	Ціаніди	0,05
Сульфат-йон	100	Хлор	

Вміст сульфат-йону не може перевищувати 100 мг/л, а натрію – 120 мг/л, тоді як для пиття допускається відповідно 300 і 200 мг/л. Це обмеження пов'язане з небезпекою утворення сірководню за рахунок відновлення сульфат-йону при взаємодії з органікою. Для аматорської риболовлі придатна вода, яка відповідає нормативам для питної.

### Використання кар'єрних виробок в якості нижніх ємкостей ГАЕС.

Новим напрямом є використання підземного простору з метою спорудження гідроакмулюючих електростанцій (ГАЕС) для вирівнювання добового графіка навантаження енергосистеми. Принцип дії ГАЕС полягає в перетворенні електричної енергії, що одержується від інших електростанцій, в потенційну енергію води. При зворотному процесі накопичена енергія віддається в енергосистему для покриття піків напруги (рис. 8.22).

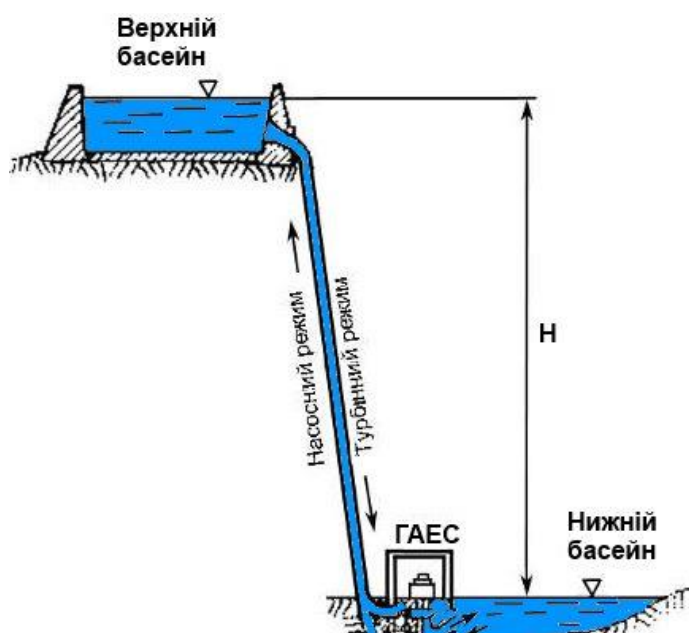


Рис. 8.22. Принципова схема ГАЕС

ГАЕС складаються з двох басейнів, розташованих на різних рівнях. Гідроагрегати, встановлені в будівлі станції в нижній частині водоводу, залежно від напрямку обертання, можуть працювати як насос або як турбіна.

Станом на 2015 рік потужність ГАЕС в розвинутих країнах характеризується даними табл. 8.6.

Таблиця 8.6

### Потужності ГАЕС у різних країнах (МВт)

Країна	Потужність	Країна	Потужність	Країна	Потужність
Японія	27438	Іспанія	6889	Австрія	4808
Китай	21545	Німеччина	6338	Півд. Корея	4700
США	20858	Франція	5894	Україна	450
Італія	7071	Індія	5072		

Міжнародна агенція з відновлювальної енергетики створила дорожню карту до 2030 року, в якій передбачено збільшення потужності ГАЕС з 150 ГВт (2014 р.) до 325 ГВт.

В Україні діють дві ГАЕС: Київська та Дністровська. Перша розташована на правому березі Київського водосховища за 2,5 км вище створу Київської ГЕС. Станція експлуатується з 1970 року. Штучно створена верхня водойма ко-

рисною ємністю 3,7 млн м<sup>3</sup> побудована на крутому березі Дніпра (схил 1:5) і підіймається на 70 м над рівнем Київського моря, яке виконує функцію нижнього водоймища.

Дністровська ГАЕС — одна з найбільших у світі. Знаходиться біля села Розкопинці Сокирнянського району Чернівецької області. Її будівництво почалося 1983 року. Встановлена електрична потужність (7 насосів-турбін) у генеруючому режимі – 2268 МВт, у насосному – 2947 МВт.

За даними ПАТ „Укргідроенерго“ одна ГАЕС здатна замінити 200 МВт від ТЕС, що дозволить економити щороку 125 млн м<sup>3</sup> газу (вартістю близько 48,128 млн дол.) та 1,1 млн т вугілля (99,3 млн дол.). Загальний коефіцієнт корисної дії станції в оптимальних умовах роботи наближається до 0,75.

Електроенергія, що виробляється недовантаженими електростанціями енергосистеми (здебільшого вночі), використовується ГАЕС для перекачування води з нижнього водоймища у верхнє. У періоди піків вода з верхнього басейну трубопроводом підводиться до гідроагрегатів, включених на роботу в турбінному режимі. Вироблена електроенергія віддається в мережу енергосистеми, а вода накопичується в нижній водоймі. Одна з переваг ГАЕС полягає в тому, що вони не залежать від сезонних коливань стоку. Час пуску і зміни режимів роботи станцій вимірюється декількома хвилинами, що зумовлює їх високу експлуатаційну маневреність.

Для використання кар'єрів як нижніх басейнів ГАЕС необхідно, щоб їх борти були стійкими. Так, при проектуванні рекультивації Подорожненського сірчаного кар'єру нами за участю спеціалістів Укргідропроєкту була розглянута можливість застосування виробки об'ємом 140 млн м<sup>3</sup> як нижнього водоймища ГАЕС. Як верхнє планувалась річка Свіча. Однак борти Подорожненського кар'єру складені осадовими породами, які легко розмиваються. Відомо, що їх деформація залежить від амплітуди коливання рівня води. В даному випадку зона деформацій сягала би сотень метрів, яких би вистачило, щоб зачепити населений пункт. Тому для описаного завдання придатні тільки кар'єрні виробки зі стійкими бортами.

Потужність електростанції в генераторному режимі визначається з виразу:

$$M = 0,098 * G * H,$$

де  $G$  – витрата води, м<sup>3</sup>/с,  $H$  – перепад рівнів води в нижньому і верхньому басейнах. Наприклад, при  $G = 2,8$  м<sup>3</sup>/с,  $H = 140$  м одержимо  $M = 38$  МВт.

Перспективним для ГАЕС є затоплений кар'єр №1 Новокриворізького ГЗК. Його загальний вигляд подано на рис. 8.23. Розміри виробки за поверхнею – 945x986 м, об'єм виробленого залишкового простору – 36,6 млн м<sup>3</sup>.





Рис. 8.23. Фотоплан кар'єрного озера Новокириворізьського ГЗК, придатного для застосування як нижнього басейну ГАЕС

Ще одним напрямком використання водного дзеркала є плавучі сонячні електростанції (рис. 8.24). Саме така потужністю 0,8 МВт знаходиться на кар'єрному озері біля міста Ренхен в Німеччині.



Рис. 8.24. Плавуча сонячна електростанція (Ренхен)

**Захист озер від забруднення.** Найбільшою небезпекою для новостворених озер є забруднення. Неочищені побутові стоки міст і селищ призводять до підвищення у воді озер вмісту фосфору та сполук азоту. Залежно від рН аміак

міститься у вигляді  $\text{NH}_3$  і йону амонію ( $\text{NH}_4^+$ ), при цьому в лужній воді рівновага зсувається в бік вільного аміаку, який є сильною отрутою для гідробіонтів. При наявності сульфат-йонів у воді наслідком забруднення органікою є утворення сірководню з одночасним зв'язуванням розчиненого кисню. Такі води набувають сірого коліру і є токсичними для всієї водної біоти.

Забруднення, джерелом яких є сільське господарство, включає стоки відходів тваринництва і приватних господарств, а також змиви залишку мінеральних добрив з полей на площі водозбору.

Найбільша небезпека для кар'єрних озер пов'язана з вилуговуванням розчинних солей та інших токсикантів із відвалів і хвостосховищ. Як приклад можна навести процес засолення поверхневих і підземних вод в районі діяльності колишнього калійно-магнієвого виробництва в Калуші Івано-Франківської області. Джерелами забруднення озера на місці кар'єру є хвостосховища і відвали солевмісних порід.

**Хвостосховище №1** площею 54 га і об'ємом 14,3 млн  $\text{м}^3$  заповнено соленосними відходами збагачення калійної руди. Негативний вплив на довкілля обумовлений вилуговуванням солей із відходів і виливом розсолів через дамби. Вони відсипані до відмітки 326 м з ущільненням і влаштуванням непроникливого зуба. Вище до гребеня, на показнику 332,5 м, дамби нарощені із проникливих ґрунтів. Тому після атмосферних опадів, на поверхні хвостосховища вода насичується солями і витікає через дамби – на 6 – 7 м нижче гребеня. Мінералізація розсолів безпосередньо на виливах змінюється в межах 335 – 384 г/л. В цих місцях взимку накопичуються відкладення мірабіліту.



Рис. 8.25. Північна дамба хвостосховища №1. Світлий колір – відкладення мірабіліту в місцях виливу розсолів.

Розсоли поглинаються водоносним горизонтом четвертинних відкладень і поширюються в південному і східному напрямках. За розрахунками водно-сольового балансу за відсутності заходів з припинення виносу солей хвостосховище буде джерелом забруднення гідросфери протягом 22 років.

**Хвостосховище №2** заповнене як твердими відходами, так і розсолом. Його площа – 48 га, загальна місткість – 9,7 млн  $\text{м}^3$ , в тому числі тверда фаза – 8 млн  $\text{м}^3$ , рідка – 1,7 млн  $\text{м}^3$ . Перевищення атмосферних опадів над випаровуван-



ням викликає небезпеку переливу розсолів через греблю, що спричинило би розмив укосів, руйнування дамби та їх витікання до гідрографічної мережі. Мінералізація розсолів на поверхні становить близько 100 г/л, а в придонному шарі на глибині 10 м – 440 г/м<sup>3</sup>.

У південно-східному куті хвостосховища спостерігається вилив розсолів. Вони поглинаються водоносним горизонтом четвертинних відкладів, який є одним із джерел живлення озера.

**Зовнішні відвали.** В період експлуатації Домбровського кар'єру розкриті породи (соленосні брекчії і некондиційні руди) закладовані у зовнішніх відвалах (рис. 8.26). Відвал №1 площею 48 га містить 11,3 млн м<sup>3</sup> порід. Його висота – 55 м, кут схилів – до 38°. Роботи з рекультивації виконувалися спорадично.



Рис. 8.26. Зовнішній відвал Домбровського кар'єру.  
Світлий колір – відкладення мірабіліту в місцях виливу розсолів.

Розчинення солей атмосферними водами призводить до утворення розсолів. Вода в канавах під основою відвалу має мінералізацію 290 – 380 г/л. Із західних схилів розсоли стікають у дренажні траншеї, а із них в озеро.

**Прибережна захисна смуга.** Для створення сприятливого режиму, попередження забруднення, засмічення і вичерпання, знищення навколводних рослин і тварин навколо озер і водосховищ та вздовж річок Водним кодексом України передбачено створення водозахисних смуг. Це дає можливість вести контроль за використанням земель прибережжя, сприяє покращенню екологічного та санітарного стану водоймищ.

Прибережна захисна смуга – це частина водоохоронної зони відповідної ширини вздовж берегової лінії водойми, де встановлено більш суворий режим господарської діяльності, ніж на решті території. Інженерне та біотехнічне упо-



рядкування із введенням на ній спеціального природокористування та господарської діяльності забезпечують сприятливий водний режим водойми, попереджують виникнення забруднення та засмічення.

Для новостворених кар'єрних озер дуже важливо забезпечити охорону не тільки навколо них, але й вздовж річок, з яких вони живляться. Ширина прибережних смуг згідно зі ст. 88 Водного кодексу України становить: для малих річок, струмків і потічків – 25 м, для середніх річок, водосховищ на них та ставків площею більше 3 га – 50 м, для великих річок, водосховищ на них та озер – 100 м. Якщо крутизна схилів перевищує три градуси (в кар'єрних озерах це завжди так), мінімальна ширина захисної смуги подвоюється.

У методичних рекомендаціях Мінагропрому України деталізоване виділення захисних смуг залежно від угідь, що прилягають до річок (табл. 8.7).

Таблиця 8.7

Ширина прибережної захисної смуги вздовж межового горизонту води

Види угідь	Ширина прибережної захисної смуги за ухилу схилів, град		
	Близько 0	Менше 3	Більше 3
Рілля	15–30	35–55	55–100
Луки, сінокоси	15–25	25–35	35–50
Ліс, чагарники	35	35–50	55–100

Внутрішньою межею прибережної смуги є рубіж рівня води в озері. Зовнішня має бути завширшки мінімум 100 м, винесена в натуру і закріплена знаками з відповідною інформацією згідно з ТУ 33-01033603-001-2000 „Знаки водоохоронні”.

Прибережна захисна смуга є природоохоронною територією з режимом обмеженої господарської діяльності.

Навколо водойми на ній забороняється:

- розорювання земель (крім підготовки ґрунту для залуження і залісення), а також садівництво та городництво;
- випас худоби;
- зберігання та застосування пестицидів та добрив;
- улаштування літніх таборів для худоби;
- будівництво будь-яких споруд (крім гідротехнічних та гідрометричних), у тому числі баз відпочинку, дач, гаражів та стоянок автомобілів;
- миття та обслуговування транспортних засобів і техніки;
- улаштування звалищ сміття, гноєсховищ, накопичувачів рідких і твердих відходів виробництва, кладовищ, скотомогильників, полів фільтрації тощо.

Об'єкти, що знаходяться в прибережній захисній смузі, можуть діяти, якщо при цьому не порушується її режим. Непридатні для експлуатації споруди, а також ті, що не відповідають встановленому режиму господарської діяльності, підлягають винесенню відтіля.

**Висновки з розділу 8.** Новостворені кар'єрні озера суттєво покращують екологічний стан місцевості. Виконуючи роль акумулятора, вони попереджають утворенню нищівних повеней та зберігають запаси води на літо. В озерах вода відстоюється від мулу, що покращує її якість в річках, які витікають із них. Завдяки поглинанню тепла влітку та його віддачі взимку покращується мікроклімат прибережних територій. В озерах і навколо них утворюються безліч екологічних ніш, збільшується різноманіття тваринного і рослинного світу. Деякі водойми мають відносно добру воду і є середовищем для життя риб і диких водних тварин. Створення озер збільшує біологічне різноманіття, сприяє рекреації і заняттям спортом, розвитку ландшафтної архітектури.

Зазвичай на кар'єрних озерах не задовольняються нормативні вимоги до питної води, але вони можуть використовуватися для зрошення, а також для вирощування риби в штучних плавучих спорудах. Перспективним напрямком є будівництво на їх основі гідроакумулюючих та сонячних електростанцій.

## Висновки

1. Згідно з водною директивою ЄС створені в результаті антропогенної діяльності водні об'єкти слід називати як подібні їм природні. Тобто, водойми у виробках кар'єрів є озерами. На відміну від природних, їх називають кар'єрними, в англійській літературі – «open pit lakes» або просто «pit lakes». Дослідженнями процесів, що відбуваються в природних озерах, займається наука лімнологія, предметом якої є весь комплекс взаємно пов'язаних фізичних, хімічних і біологічних процесів, що визначають життя водойми. Лімнологія є базою для вивчення, прогнозування, та використання озер в улоговинах затоплених кар'єрів.

2. З точки зору морфології улоговин майбутніх озер можна виділити чотири основних типи кар'єрних виробок: А – в осадових породах з виступаючими вище рівня води внутрішніми відвалами, Б – те саме з зануреними відвалами, В – у масивах скельних порід, Г – у скельних і полускельних, магматичних та метаморфічних породах з крутонахиленим або вертикальним рудним покладом.

3. Якщо днище кар'єру знаходиться нижче регіонального рівня підземних вод, він заповнюється поверхневими і підземними водами. Затоплення виробок може бути керованим або довільним. Для попередження негативних наслідків та забезпечення раціонального господарського використання новоутворених озер необхідно прогнозувати динаміку затоплення. Найбільше значення мають атмосферні опади. Оскільки в розрахунки приймаються середні дані про них, точність прогнозних обчислень залежить від терміну затоплення. Площа водного дзеркала збільшується в часі, в той час як приплив підземних вод зменшується, а випаровування зростає. Тому графіки підняття рівня мають форму параболи. Після підняття рівня до максимального значення компоненти водного балансу не мають суттєвих відмін від природних озер. Залежно від кліматичних факторів утворені водойми можуть бути безстічними в аридних зонах або стічними та проточними на ділянках з гумідним кліматом.

4. Борти кар'єрів є неврівноваженими системами і характеризуються наявністю різноманітних деформацій. Заповнення виробок водою призводить до змін напруженого стану гірських масивів, активізації існуючих і появлення нових геодинамічних явищ. Береги майбутніх озер деформуються внаслідок зсувів, обвалів, абразії (хвильового розмиву), ерозії, вивітрювання. Наслідки геодинамічних процесів в більшості випадків є позитивними, оскільки вони сприяють рівновазі природі і в кінцевому рахунку збільшують безпеку і якість новоутворених водойм. Боротися з береговими процесами доцільно тільки тоді, коли вони несуть безпосередню загрозу цінним об'єктам.

5. Кар'єрні водойми успадковують форми виробок, які, в свою чергу, залежать від форм та умов залягання рудних покладів, властивостей руди і розкритих порід, систем розробки. Кар'єрні озера відрізняються від природних великою глибиною при малій площі, стрімкими берегами, конусоподібним



дном, східчастими схилами. В результаті берегових процесів кар'єрні озера наближаються до форм природних: утворюється прибережна мілина (літораль), вирівнюються уступи і берми, формуються донні механічні і органогенні осади. Практично подібними до кар'єрних є вулканогенні та метеоритні озера.

6. В кар'єрних озерах зосереджені значні запаси води. У формуванні її хімічного складу води розрізняються стадії змішування, трансформації, стабілізації. Після того вода набуває рівноважного складу. Факторами його формування є фізико-хімічні властивості озерного ложа, співвідношення кількості атмосферних, річкових і підземних вод як джерел живлення, хімічні реакції між водами різного походження, біохімічні процеси, а також кліматичні умови. На стадії трансформації здійснюється заселення озера гідробіонтами та їх пристосування до мінливого хімічного складу води.

Наявність легкорозчинних мінералів в ложі озера або приплив мінералізованих підземних вод ускладнюють процеси стратифікації водної товщі та спричиняють до формування монімолімніону – шару мінералізованої води, яка не перемішується при сезонних коливаннях температури. В окремих випадках, мероміктичні озера є термальними.

На багатьох вугільних розрізах та кар'єрах з видобутку сульфідних руд поліметалів внаслідок окиснення утворюються води з кислою реакцією. В літературі висвітлюються способи попередження таких процесів та їх нейтралізації на різних стадіях формування озер.

7. З початком затоплення кар'єрних виробок і впритул до стабілізації новоутворених озер в них розвиваються гідробіонти, види та щільність яких змінюється відповідно до змін температури та хімічного складу води. Саме він є головним чинником, що впливає на біорізноманітність є. В свою чергу розвиток біоти сприяє покращенню якості води. Найбільшою щільністю та різноманіттям характеризується літораль – прибережне мілководдя, яке просвічується сонцем до дна. На межі гіполімніону і монімолімніону здійснюється масова загибель гідробіонтів з утворенням міксолімніону - шару, збагаченого органікою. Першими поселенцями нових озер є мікроорганізми, життєздатні навіть при екстремальних температурах та хімічному складі води. За ними з'являються планктон, макрофіти, безхребетні, риби, водоплавне птаство, водолюбні ссавці, тобто формується повна трофічна піраміда. Рибна продуктивність кар'єрних озер обмежена внаслідок великої глибини та малої площі літоралі.

8. Новостворені кар'єрні озера суттєво покращують екологічний стан місцевості. Виконуючи роль акумулятора, вони попереджають нищівні повені та зберігають запаси води на літо. В озерах вода відстоюється від мулу, що покращує її якість в річках, що витікають з них. Завдяки поглинанню тепла влітку та його віддачі взимку покращується мікроклімат прибережних територій. В озерах і навколо них утворюються безліч екологічних ніш, збільшується різноманіття тваринного і рослинного світу. Деякі водойми мають відносно якісну воду і є середовищем життя для риб і диких водних тварин. Створення озер збі-

---

льшує біологічне різноманіття, сприяє рекреації і заняттям спортом, розвитку ландшафтної архітектури.

Зазвичай на кар'єрних озерах не задовольняються нормативні вимоги до питної води, але вони можуть використовуватися для зрошення, а також для вирощування риби в штучних плавучих спорудах. Перспективним напрямком є будівництво гідроакумуючих та сонячних електростанцій.

## Література

1. Абрамов С.К., Газизов М.С., Костенко В.И. Защита карьеров от воды. - М. - Недра. - 1976. - 270 с.
2. Адаменко О.М., Рудько Г.І., Ковальчук І.П. Екологічна геоморфологія. -Івано-Франківськ. - ФАКЕЛ. - 2000. - 406 с.
3. Анучин Д.Н. Воды суши. Озёра. //Землеведение . Т.III.Кн.2. - М. - 1896.
4. Богословский Б.Б. Озероведение: Учебн. Пособие для ун-тов. - М. - Изд. МГУ. - 1960. - 336 с.
5. Бойченко С.Г. Трансформация природных зон на территории Украины при дальнейшем глобальном потеплении: равновесные и неравновесные модели, сценарии. //Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. - 2005, №1, - с. 43-48.
6. Вступ до медичної геології. /За редакцією Г.І.Рудька, О.М. Адаменка. - К.:Академпрес, - 2010. Т.1. - 736 с.
7. Гайдин А.М. Гидрогеологические прогнозы затопления открытых горных выработок. //Инженерная геология. - 1985. №6. - с.89-94.
8. Гайдин А.М. Водная рекультивация остаточных выемок серных карьеров. //Горный журнал. - 1996.- №7-8. - С.107-109.
9. Гайдін А.М., Рудько Г. І. Техногенний карст. - Київ-Чернівці: Букрек. - 2016. - 200 с.
10. Гайдін А.М., Собко Б.Ю. Гідроекологія при гірничих роботах. - Д.: «Літограф». - 2018. - 218 с.
11. Гідроекологічна токсикометрія та біоіндикація забруднень. /За ред. І.Т. Олексіва, Л.П. Брагінського. - Львів. - Світ. - 1995. - 440 с.
12. Директива 2000/60/ЄС Європейського парламенту і Ради «Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики» від 23 жовтня 2000 р.
13. Евграшкина Г.П. Пруд-накопитель сбросных шахтных вод «Свидовок» в Западном Донбассе. //Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. - 2003. - №5. - с.48-51.
14. Журавлев Г.И. Гидротехнические сооружения. - М. - Колос. – 1979. - 280 с.
15. Калесник С.В. Проблемы физической географии. Избр. тр. -Л.: Наука. - 1984. - 288 с.
16. Зенин А.А., Білоусова Н.В. Гидрохимический словарь. Л-д: Гидрометеоиздат. - 1988. - 210 с.
17. Качугин Е.Г. Инженерно-геологические исследования и прогноз переработки берегов водохранилищ. - М.: Госгеолтехиздат. - 1959. - 230 с.
18. Лесненко В.К. Мир озёр. - М.: Просвещение. - 1989. - 160 с.



19. Лопух, П. С. Общая лимнология [Электронный ресурс] : пособие для студентов геогр. фак. / П. С. Лопух, О. Ф. Якушко. - Минск. - БГУ. - 2011. - Режим доступа : <http://www.elib.bsu.by>.
20. Маркович Л.П. Устойчивость бортов серных карьеров и борьба с их деформациями. - М. - НИИТЭХИМ. -1983. - 50 с.
21. Мельничук П.А. Мониторинг экологического состояния как условие охраны и возрождения водных ресурсов. // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. - 2003. - №5. - с.54-57.
22. Меншуткин В.В., Филатов Н.Н. Некоторые итоги и перспективы изучения озёр. /Труды Карельского научного центра РАН Выпуск 9. Петрозаводск. - 2006. - С.154-161.
23. Мироненко В.А., Шестаков В.М. Основы гидрогеомеханики. - М. - Недра. - 1974. - С.197.
24. Мороз О. М. Використання сполук нітрогену бактеріями циклу сульфуру озера Яворівське / О. М. Мороз, І. Б. Русин // Мікробіологія і біотехнологія. - 2012. - № 2 (18). - С. 96-108.
25. Никитин В.С., Битколов Н.З. Проветривание карьеров. - М. - Недра. - 1975. - 256 с.
26. Остроумов С.А. Основы теории биотического формирования качества воды и самоочищения водных экосистем. «Екологія довкілля та безпека життєдіяльності». - 2004. - №6. - с.12-18.
27. Очерки дегазации земли. В.М. Шестопапов, А.Е. Лукин, В.А. Згонник, А.Н. Макаренко, Н.В. Ларин, А.С. Богуславский. Научно-инженерный центр радиогидрогеоэкологических полигонных исследований НАН Украины. Институт геологических наук НАН Украины. - К. - 2018. - 632 с.
28. Родичкин И.Д. Человек, среда, отдых. - Киев. - «Будивельник». - 1977. - 180 с.
29. Толстихин О.Н. Земля в руках людей. - М. - Недра, - 1981.-160 с.
30. Формування мінеральних вод України. За ред. Академіка НАН України В.М. Шестопапова. - К. - Наукова Думка. 2009. - 312 с.
31. Чугаев Р.Р. Земляные гидротехнические сооружения. - Л.:Энергия. - 1967. - 452 с.
32. Шестопапов В.М., Овчинникова Н.Б. Подземные воды и здоровье. //Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. - 2003. - №1, - с. 19-34.
33. Boehrer V., and M. Schultze (2008), Stratification of lakes, Rev. Geophys., 46, RG2005, doi: 10.1029/2006RG000210. <https://doi.org/10.1029/2006RG000210>.
34. Bohrer V., Heidenreich H., Schimmele M., Schultze M. Numerical prognosis for salinity profiles of future lakes in the opencast mine Merseburg-Ost International Journal of Salt Lake Research 1: 235-260, 1998.
35. Brenner F.J., Edmundson J., Werner M. and McGrath T. (1987). Plankton, chlorophyll characteristics and fishery potential of surface coal mine lakes in western Pennsylvania. Proc. Pennsylvania Academic Science. 61: 147-152.

36. Castro, James M. "Pit lakes: Their geochemistry and the potential for their remediation" (1998). *Graduate Student Theses, Dissertations & Professional Papers*. 10516. <https://scholarworks.umt.edu/etd/10516>.

37. Castro, J.M. and Moore, J.N. (2000). Pit lakes: their characteristics and the potential for their remediation. *Environmental Geology*. 39: 1254-1260.

38. Croal J., White P., Coleman B. Novel approach to acid pit lake treatment and management.//Proceedings IMWA 2017, / Mine Water and Circular Economy. Lappeneenranta, Finland. P.495 - 501.

39. Davis A. and Eary L.E. (1997). Pit lake water quality in the western United States: An analysis of chemogenetic trends. *Mining Engineering*, June. 98-102.

40. Dimitrakopoulos D., Vasileiou E., Stathopoulos N. Estimation of the qualitative characteristics of post mining lakes in different lignite fields in Greece.//Proceedings IMWA 2016/ Leipzig / Germany. P.219-225.

41. Doulati Ardejani F., Singh R.N., Baafi E. and Porter I. (2003 a). A Finite Element Model to: Predict Groundwater Inflow to Surface Mining Excavations, *Mine water and Environment*. 22 (1): 31-38.

42. Doupé R.G. and Lymbery A.J. (2005). Environmental risks associated with beneficial end uses of mine lakes in Southwestern Australia. *Mine Water Environment*. 24: 134-138.

43. Eary L.E. Geochemical and equilibrium trends in mine pit lakes. / *Applied Geochemistry* 14 (1999) 963-987.

44. Eriksson N., Mueller S., Forsgren A. Developing closure plan using performance based closure objectives: Aitik Mine (Northern Sweden). //Proceedings IMWA 2017, / Mine Water and Circular Economy. Lappeneenranta, Finland. P.822 - 829.

45. Fahle Werner. Reclamation and remediation in the eastern German lignite regions / Landscape shaping of the headings exploited in the mining. «Kształtowanie krajobrazu terenów posteksploatacyjnych w gornictwie». Krakow-2003, 367 c.

46. Friese K., Hupfer M. and Schultze M. (1998). Chemical characteristics of water and sediment in acid mining lakes of the Lusatian lignite district. In: Geller W, Klapper H, Solomons W (Eds.), *Acidic Mining Lakes: Acid Mine Drainage. Limnology and Reclamation*. 25-46.

47. Gammons C. H., Harris L.N., Castro J.M., Cott P.A., and Hanna B.W. 2009. Creating lakes from open pit mines: processes and considerations - with emphasis on northern environments. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2826: ix + 106 p.

48. Gawlik B., Kirejczyk J., Kulma R., Matuszewski J. Likwidacja i zagospodarowanie wyrobisk gorniczych "Machow" i "Piaseczno" w warunkach zaistniałych opoznen robot likwidacyjnych. *Konf. Naukowa "Była siarka I co dalej?"* - Tarnobrzeg, 2003. p.20.

49. Geller W., Geller M., Kleinmann B. and Wolkersdorfer C. (2012). *Acidic pit lakes: The legacy of coal and metal surface mines*. Springer – Verlag. ISBN: 978-3-642-29383-2. 525 p.

50. Gulati Ramesh D., Zadereev Egor S. Ecology of meromictic lakes. Springer, 2017/ - 405.
51. Hutchinson G.E. Treatise on limnology, Geography, physics and chemistry, vol 1. New York: John Wiley, 1957.
52. Johnstone A., Lizel Kennedy. Coal mine pitlakes in South Africa. //Proceedings IMWA 2017, / Mine Water and Circular Economy. Lappeneenranta, Finland. P.403 - 410.
53. Lund M.A., Blanshette M.L., Pinto J.G. Are microcosms tiny pit lakes? //Proceedings IMWA 2016 / Leipzig / Germany. P.1204-1211.
54. McCullough Clint D. (2011). Mining pit lakes: Closure and management. Australian Centre for Geomechanics. ISBN: 978-0-9870937-2-1. 183 p.
55. McCullough C.D. and Eddie, J.B. van Etten. (2011). Ecological restoration of Novel lake districts: New approaches for new landscapes. Mine Water Environment, Springer Publication.30: 312 -319. <https://doi.org/10.1007/s10230-011-0161-5>.
56. Miller G.C., Lyons W.B. and Davis, A. (1996). Understanding the water quality of pit lakes. Environment Science and Technology. 30: 118A-123A.
57. Mpletle M., Johnstone A. The Water Balance of South African Coal Mines Pit Lakes. 11<sup>th</sup> ICARD IMWA |MWD Conference – “Risk to Oportunity”. P. 680-685.
58. Nordstrom D.K. and Alpers C.N. (1999). Geochemistry of acid mine waters. Reviews in Economic Geology. Society of Economic Geologists. 6A:133-160.
59. Numerical prognosis for salinity profiles of future lakes in the opencast mine Merseburg-Ost. Bohner B., Heidenreich H., Schimmele M., Schultze M. Int. Journal of salt lake research. 7. 239-260, 1998.
60. Otchere F.A., Veiga M.M., Hinton J.J., Farias R.A. and Hamaguchi R. (2004). Transforming open mining pits into fish farms: moving towards sustainability. Natural Resources Forum. 28: 216-223.
61. Prikryl Ivo, Kabrna Martin. Findings from flooding residual pits remaining after coal mining in the Czech Republic.// Proceedings IMWA 2016 / Leipzig / Germany. P.201-206.
62. Soni A.K., Mishra B., Singh.S. Pit lakes as an end use of mining: A review. Journal of Mining & Environment, Vol.5, No.2, 2014, 99-111.
63. Stevens C.L. and Lawrence G.A. (1998). Stability and meromixis in a water-filled mine pit. Limnol. Oceanogr. 43, 946-954.
64. Sumer S., Pitts L., McCulloch J. and Quan, H. (1995). Alberta lake re-established after draining to mine coal. Mining Engineering. 47: 1015-1020.
65. Tadonleke R.D., Sime-Ngando T., Amblard C., Sargos D. and Devaux J. (2000). Primary productivity in the recently flooded 'Sep Reservoir'. Puy-de-Dome, France. J. Plankton Research. 22: 1355-1375.
66. Vandenberg J., McCullough C., Castendyk D. Key issues in Mine Closure Planning Related to Pit Lakes.//10<sup>th</sup> International Conference on Acid Rock Drainage. 10<sup>th</sup> IMWA Annual Conference.



67. Walter G., Klapper H. and Salomonos W. (1998). Acidic mining lakes: Acid Mine Drainage, limnology and Reclamation, Springer – Verlag. Germany. ISBN3-540-63486-X. 435 p.

68. Wollman K., Deneke R., Nixdorf B. and Packroff G. (2000). Dynamics of planktonic food webs in three mining lakes across a pH gradient (pH 2-4). *Hydrobiologia*. 433: 3-14.

69. Younger Paul L. (2005). Westfield Pit Lake, Fife (Scotland): The evolution and current hydro-geological dynamics of largest bituminous coal pit lake. Proc. 9th International Mine Water Congress, Spain. 281-287.

70. Zachara, J.M., Moran, J.J., Resch, C.T., Lindemann, S.R., Felmy, A.R., Bowden, M.E., Cory, A.B., Fredrickson, J.K., Geo- and Biogeochemical Processes in a Heliothermal Hypersaline Lake, *Geochimica et Cosmochimica Acta* (2016).

<https://doi.org/10.1016/j.gca.2016.02.001>.

71. Żurek R., Diakiv V., Szarek-Gwiazda E., Kosiba J., Wojtal A. Unique Pit Lake Created in an Opencast Potassium Salt Mine (Dombrovska Pit Lake in Kalush, Ukraine) Mine Water and the Environment.

<https://doi.org/10.1007/s10230-018-0527-z>.

## ГЛОСАРІЙ

- Абразія – розмивання берегів водоймищ хвилями.
- Абсорбція (absorption) – процес проникнення розчинених речовин через оболонку клітини в середину живих організмів.
- Адсорбція (adsorption) – процес проникнення розчинених речовин у тверді органічні або неорганічні тіла.
- Algae – фотосинтезуючі мікроби, що мають клітинне ядро, еукаріоти (eukaryotes).
- Аноксія (anoxia) – відсутність кисню, зокрема у водній товщі.
- Автотрофічні (autotrophic) бактерії – мікроби-прокаріоти (безядерні), що використовують CO<sub>2</sub>.
- Бентос – біота, що живе на дні водойм.
- Берма – горизонтальна площадка на борті кар'єру. Транспортні берми служать для вивезення із кар'єру гірської породи і руди. Берми безпеки служать для забезпечення стійкості уступу та бортів кар'єра.
- Біотоп – місце (ареал) існування організму.
- Біоценоз (biocenoses) – група організмів, що утворюють екологічне співтовариство.
- БПК – біологічна потреба кисню (BOD, Biological oxygen demand) – кількість кисню, що втрачається у воді в результаті біологічних процесів.
- Гетеротрофні (heterotrophic) бактерії – такі, яким, на відміну від автотрофних, потрібні для життя органічні сполуки.
- Гіполімніон (hypolimnion) – глибока частина водойми, що відділяється від верхньої частини (епілімніону) термоклинном.
- Голоміктичні (holomictic) озера – такі озера, в яких, на відміну від мероміктичних, здійснюється повне (до дна) сезонне перемішування водної товщі.
- Дифузія – міграція хімічних речовин під дією градієнту їх концентрації в нерухомому середовищі.
- Евапоконцентрація (evapoconcentration) – збільшення мінералізації води внаслідок випаровування
- Евтрофікація (eutrophication) – загнивання водойми внаслідок надлишку поживних речовин.
- Екологічна ніша – межа існування даного виду (вимоги до температури, хімічного складу та ін.).
- Епілімніон (epilimnion) – верхня частина водної товщі, що прогрівається влітку.
- Ерозія – розмивання земної поверхні текучими водами з утворенням ярів.
- Інверсія (turnover) – процес перемішування водної товщі, що виникає при переході температури через 4°C.
- Інсоляція (insolation) – потік і поглинання сонячного світла водою.
- Кліф – субвертикальний обрив берега, в який ударяють хвилі.
- Конвекція – перенос речовин у рухомому середовищі.
- Консументи – тварини, що живляться іншими організмами.
- Лімнологія (limnology) – наука, що вивчає біологічні, фізичні, хімічні, та інші процеси і властивості внутрішньоматерикових водойм (озер, водосховищ, ставків).
- Літораль (littoral) – мілководдя, мілина – зона водойми, де світло досягає дна. У деяких авторів це просто прибережне мілководдя.
- Макрофіти (macrophyte) – багатоклітинні водні рослини.
- Макроінвертенбрати (macroinvertebrates) – безхребетні організми, яких видно без мікроскопу.
- Мероміктичні (meromictic) озера – на відміну від голоміктичних, стратифіковані озера, в яких глибока частина не перемішується.
- Металімніон (metalimnion) – те саме, що термоклин.

Монімолімніон (monimolimnion) – глибока частина водойми, що не перемішується внаслідок великої щільності мінералізованої води.

Нектон – сукупність водних активно плаваючих організмів, спроможних протистояти течії (риби, амфібії, рептилії, тварини).

Оліготрофічна (oligotrophic) водойма – водойма з малим вмістом поживних речовин і водної біоти.

Планктон (plankton) – малі і мікроскопічні організми, що населяють водну товщу і дрейфують за течіями на відміну від нектону, який вільно плаває.

Турбулентна дифузія – процес змішування води з різною концентрацією розчинних речовин внаслідок турбулентного руху водного середовища.

Фотосинтез (photosynthesis) – процес існування рослин, які в присутності сонячного світла вживають вуглець та виділяють кисень.

Фототрофи (phototrophes) – організми, що потребують світла для життєдіяльності (метаболізму).

Пінкноклін (pynocline) – поверхня, що розділяє шари води з різною мінералізацією, те саме, що і хемоклін.

Продуценти – організми, які утворюють органічні сполуки, переробляючи неорганічні.

Протічне озеро (flow-through lake) – озеро, в яке вода припливає із водотоків і витікає в них.

Профундаль – частина водної товщі за межами мілководь (літоралі) і верхнього шару, що перемішується хвилями.

Редуценти (сапротрофи) – організми, що отримують необхідні для життя речовини, переробляючи мертві залишки біоти.

Термоклин (thermocline) – шар, що поділяє водну товщу з різною температурою.

Фітобентос – вищі водні рослини і водорості.

Фотичний шар – область водної товщі, що просвітлюється сонцем, на відміну від афотичного. Межа між ними пролягає на глибині, куди проникає лише 1 % світла.

Фототрофи (phototroph) – організми, що потребують світла для метаболізму.

Хемоклін – (chemocline) – шар, що розділяє частини водної товщі з різним вмістом розчинних речовин.

ХПК (COD) – характеристика кількості поглинання кисню з води в результаті хімічних реакцій.

Ціанобактерії (cyanobacteria) – синьозелені водорості.