

заливах это снижение прессы солености, вызванное частичной изоляцией заливов от моря. В опресненных – уменьшение проточности и накопление детрита в донных отложениях (из-за превращения заливов во внутридельтовые водоемы), а также затенение погруженных укореняющихся гидрофитов, вызванное чрезмерным развитием водяного ореха.

1. *Зеров К. К.* Водная растительность Килийской дельты Дуная / К. К. Зеров // Дунай и сопредельные водоемы в пределах СССР. – К.: Изд-во АН УССР, 1961. – С. 37–49.
2. *Катанская В. М.* Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР / В. М. Катанская. – Л.: Наука, 1981. – 187 с.
3. *Определитель* высших растений Украины / Д. Н. Доброчаева, М. И. Котов, Ю. Н. Прокудин [и др.]. – К.: Наукова думка. – 548 с.
4. *Папченко В. Г.* О классификации растений водоемов и водотоков / В. Г. Папченко // Гидробиотаника: материалы, методы : Материалы школы по гидробиотанике ( 8–12 апреля 2003 г., Борок). – Рыбинск: ОАО Рыбинский дом печати, 2003. – С. 23–26.

*Т.М. Дьяченко*

Інститут гідробіології НАН України, Київ

### ЗМІНА ЕКОЛОГІЧНОЇ СТРУКТУРИ ФЛОРИ МАКРОФІТІВ В ЗАТОКАХ КІЛІЙСЬКОЇ ДЕЛЬТИ ДУНАЮ

Розглядаються зміни екологічної структури флори водних макрофітів в ході сукцесій в опреснених і солоноватоводних затоках Кілійської дельти Дунаю.

*Ключові слова:* Кілійська дельта Дунаю, водні макрофіти, сукцесія, екологічна група

*T.M. Dyachenko*

Institute of Hydrobiology of NAS of Ukraine, Kyiv

### CHANGE IN ECOLOGICAL STRUCTURE OF MACROPHYTES FLORA IN THE BAYS OF THE KILIA DANUBE DELTA

The changes in the ecological structure of aquatic macrophytes flora during the successions in desalination and brackish bays of Kilia Danube Delta are considered.

*Keywords:* Kilia Danube delta, aquatic macrophytes, succession, ecological groups

УДК 54.2.66.061.3

В.О. ДЯКІВ

Львівський національний університет імені Івана Франка  
вул. Грушевського, 4, Львів, 79005, Україна

## **МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ САМОІЗОЛЯЦІЇ БОРТІВ, ГРАВІТАЦІЙНОЇ ДИФЕРЕНЦІАЦІЇ ТА ХВИЛЬОВОГО ЗМІШУВАННЯ НА ФОРМУВАННЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ОЗЕРНИХ ВОД В ПРОЦЕСІ ЗАТОПЛЕННЯ ДОМБРОВСЬКОГО СОЛЯНОГО КАР'ЄРУ (м. КАЛУШ)**

---

Змодельовано вплив головних природних чинників, які супроводжують затоплення соляного кар'єру в м. Калуші (Івано-Франківська область) та визначають формування хімічного складу озерних вод. Доведено, що внаслідок руйнування бортів кар'єру, береги і дно озера ізолюються від соленосних відкладень. Внаслідок відмінності у мінералізації та густині вод на ділянках вилуговування соляних мінералів, відбувається їх гравітаційна диференціація. Потужність зони хвильового змішування залежить від інтенсивності вітрів та призводить до усереднення

хімічного складу у приповерхневій водній товщі. Спільний вплив цих процесів призводить до опріснення мінералізованих вод та формування прісноводної товщі.

*Ключові слова:* Домбровський кар'єр, калійні руди, затоплення, розчинення, самоізоляція бортів, моделювання, хімічний склад, озерні води

До однієї з найбільших проблем м. Калуша, що у 2010 р. було оголошене зоною екологічного лиха, належить самозатоплення Домбровського соляного кар'єру, яке почалося після катастрофічної повені в липні 2008 року. З того часу на місці кар'єру утворюється озеро з унікальним гідрохімічним складом за рахунок розчинення бортів складених легкорозчинними мінералами з домішками нерозчинного матеріалу. У зв'язку із цим одним з найважливіших питань є прогноз хімічного складу води в майбутньому озері, чи не стане воно джерелом засолення четвертинного водоносного горизонту та чи буде вода придатна для життя гідробіонтів. Так, автори статті [1] вважають, що озеро буде солоним, унаслідок чого станеться засолення четвертинного водоносного горизонту. Протилежну думку відстоювали А.М. Гайдін та В.О. Дяків, які на підставі експериментального моделювання і теоретичних розрахунків довели, що верхня частина водної товщі буде прісною і небезпеки для довкілля не буде [2, 3]. Тому вельми актуальним є оцінка достовірності виконаного прогнозу хімічного складу води в Домбровському озері.

### **Матеріал і методи досліджень**

Для досягнення вказаної мети були проведені спостереження за динамікою затоплення кар'єру, фотодокументація стану бортів, проміри глибини озера, поінтервальне опробування затопленої частини кар'єру та визначення гідрохімічного складу за стандартними методиками. Основним методом оцінки впливу природних геологічних та гідродинамічних процесів на формування хімічного складу озерних вод в процесі затоплення Домбровського соляного кар'єру було експериментальне моделювання. При побудові експериментальної моделі борта кар'єру в якості аналога соленосної товщі взято суміш галіту та глинистих мінералів у пропорції 3:1, змішаної та скріпленої незначною кількістю води (950 мл на 10 кг суміші), яка при висушуванні та механічному утрамбуванні перетворюється на стійку тверду штучну соленосну породу заданої конфігурації. Така штучна галопелітова товща за фізико-хімічними особливостями, розчинністю, фільтраційними властивостями максимально відповідала соленосній товщі реального об'єкту. Затоплення "кар'єру" імітувалось шляхом дозованого капельного поливу гравію прісною водою.

### **Результати досліджень та їх обговорення**

Поклади Калуш-Голинського родовища мають складний полімінеральний склад. Основними мінералами калійних покладів є галіт, каїніт, лангбейніт. В невеликих кількостях (1-8%) присутні полігаліт, кізерит, сильвін, шеніт, епсоміт, леоніт і карналіт. У вигляді домішок (до 1%) зустрічаються астраханіт, левейт, гексагідрит, ангідрит, гіпс, рідко вантгофіт, бішофіт і арканіт. Важливу роль в складі калійних порід відіграє глинистий і алеврито-піщаний терігенний матеріал, який присутній в кількості 10-15%.

Домбровський кар'єр характеризується наступними морфометричними показниками: глибиною 140 м, довжиною 900 м, шириною 850 м, площею 64 га, об'ємом виробленого простору 52,5 млн. м<sup>3</sup>. Покриваючі відклади розкриті чотирма уступами висотою до 10 м з організацією селективної виїмки ґрунтово-рослинного шару, суглинків, галечників і гіпсо-глинистої "шапки", а скельні розкриті породи та рудний поклад – уступами висотою до 15 м. За весь період експлуатації з Домбровського кар'єру видобуто 35,4 млн. м<sup>3</sup> розкритих порід і 14,7 млн м<sup>3</sup> калійної руди – разом 50,1 млн м<sup>3</sup> гірничої маси.

Водопритік у соляний кар'єр супроводжується розвитком цілого ряду екзогенних геологічних процесів. Деякі з цих процесів можна спостерігати як у природних умовах, так і відтворити натурні спостереження на експериментальній моделі. Як показали результати експериментального моделювання первинним процесом, що супроводжує затоплення соляного кар'єру прісними водами, є зародження та поглиблення ніші вилуговування, із "зависанням" над рівнем водного дзеркала консолі соленосних товщ. Поглиблення ніші вилуговування

призводить до посилення гравітаційного навантаження на "завислу" консоль, що у певний момент спричиняє зародження субвертикальних заколів. Субвертикальні заколи порушують стійкість бортів та призводять до обвалу легкорозчинних порід. Нерозчинний теригенний глинистий матеріал, осідаючи на нерівну поверхню підводного схилу, утворює підпірну призму під кутом природного укосу. Найважливішим наслідком фізико-хімічної та механічної дезінтеграції соленосних товщ, є їх самоізоляція та консолідація гідроізолюючої прошарку, коли нерозчинний осад утворює стійкий механічний бар'єр між водою та соленою товщею (рис. 1).

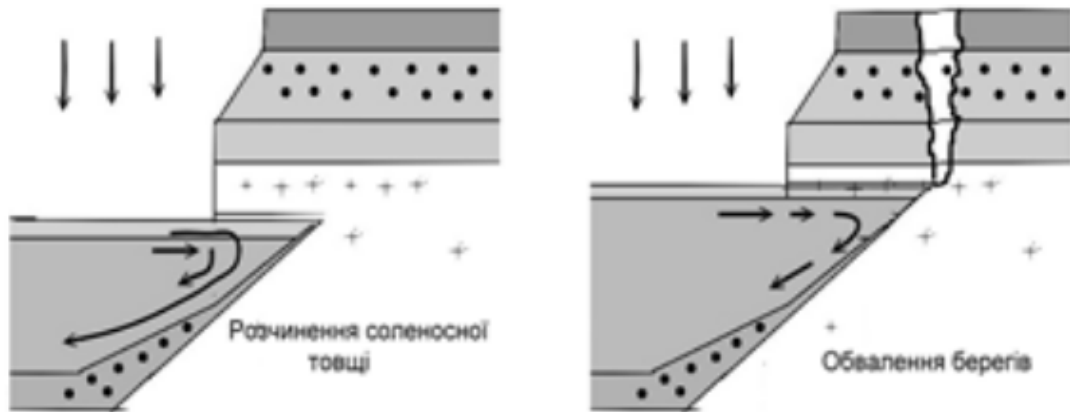


Рис. 1. Схема гідроізоляції бортів соляного кар'єру в процесі затоплення (вгорі) відтворена при експериментальному моделюванні (внизу)

В наступному експерименті в процесі дослідного затоплення до рівня "четвертинного горизонту" проведені спостереження за змінами хімічного складу вод при періодичному відборі 25% об'єму розсолів з дна. У такий спосіб моделювався процес гравітаційної диференціації розсолів, що утворюються у ніші вилуговування та поширюються вниз по ухилу борта у відповідності до питомої маси. Відібраний об'єм розсолу компенсувався додаванням тотожної кількості прісної води у ламінарному та турбулентному режимах. Після 3-5 денного відстоювання в "затопленому кар'єрі" визначали питому масу води ареометричним методом з п'яти водних прошарків на рівні: 1 – "водної поверхні", 2 – "четвертинного водоносного горизонту", 3 – "гіпсово-глинистої шапки", 4 – "соленої товщі" та 5 – "донної частини кар'єру". Як показують спостереження на моделі, розсіл з високою мінералізацією стікає нахиленою поверхнею ніш на дно, а прісна вода накопичується зверху. В такий спосіб доведено чітку гравітаційну диференціацію та приуроченість розсолів близьких до насичення до донної частини експериментальної водойми. Мінералізовані води різної концентрації від вищих внизу до нижчих вгорі локалізовані у центральній частині поперечного профілю моделі. Натомість у приповерхневій частині водної товщі при мінімально-спостережуваних процесах змішування в умовах відсутності вітрового впливу локалізовані прісні води.

Польові спостереження за процесами затоплення дозволили дослідити роль вітрового впливу на інтенсивність хвильового змішування та дати кількісну оцінку їхнього впливу на формування хімічного складу озерних вод (рис. 2).

Як показують спостереження за бортами затоплюваного соляного кар'єру, в природних умовах амплітуда коливання рівня води залежить від швидкості вітру та висоти хвиль. Максимальна висота хвилі по аналогії з подібними за розміром озерами становить 1 м за умови швидкості вітру понад 10 м/с вітру, при 3 до 10 м/с – 0,5 м та 0,25 м за умов меншої від 3 м/с швидкості вітру. У першому випадку мінералізації води на поверхні 100 г/дм<sup>3</sup>, максимальна зона змішування може досягати 5 м, у другому випадку не більше 2,5 м а за швидкості вітру до 3 м/с не більше 1,2 м (рис. 2).

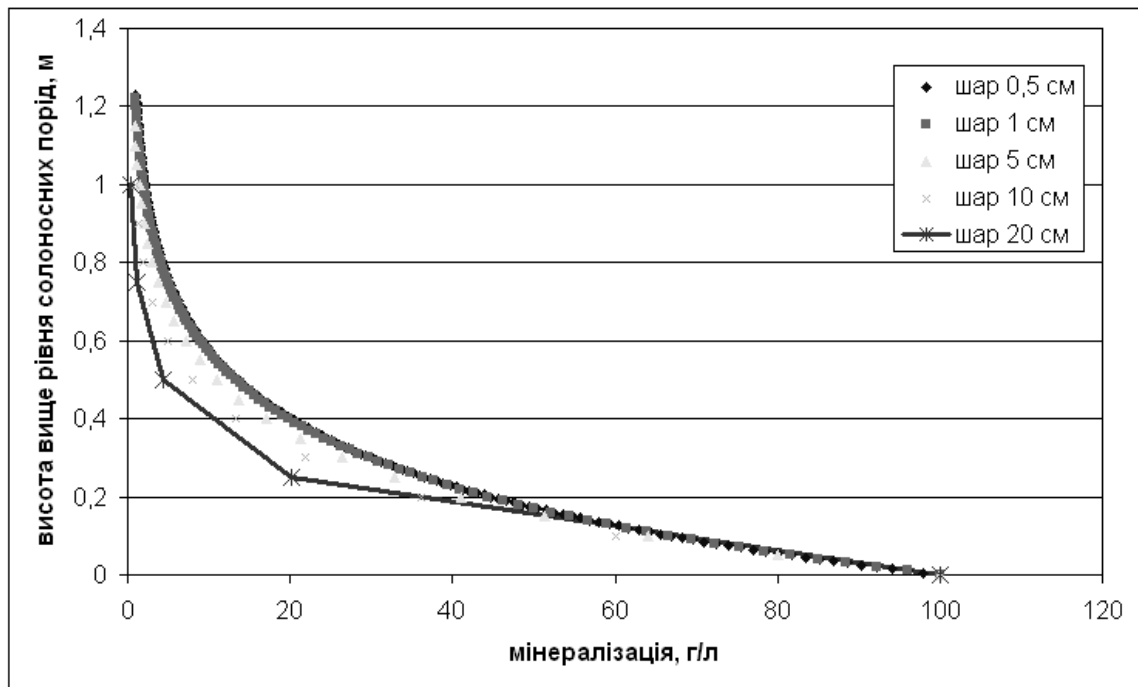


Рис. 2. Результати розрахунків глибини хвильового змішування у зоні потужністю 0,25 м поверхневого шару з мінералізацією 100 г/дм<sup>3</sup> при випаданні шару атмосферних опадів від 0,5 до 20 см

### Висновки

Результати експериментального моделювання та кількісної оцінки процесів змішування вод різного хімічного складу показали, що внаслідок затоплення соляного кар'єру відбувається розчинення соляних мінералів в бортах з утворенням ніш та обвалення порід над нішами. В результаті переробки берегів соленосні відклади самоізолюються від водної товщі і тому розсоли будуть утворюватися тільки в період затоплення соленосних порід. У формуванні хімічного складу води в озері, що утворюється на місці кар'єру, виділяються стадії утворення розсолів в період затоплення соленосної товщі, їхньої гравітаційної диференціації у стратифікованій водоймі, накопичення прісної води в періоди затоплення четвертинних відкладень, хвильового перемішування вод на границі мінералізованих вод та прісноводної товщі зі зміною мінералізації від 100 г/дм<sup>3</sup> до 1 г/дм<sup>3</sup> і менше у зонах до 5 м за умови швидкості вітру понад 10 м/с вітру, до 2,5 м – при швидкості вітру від 3 до 10 м/с – 0,5 м та 0,25 м за умов меншої від 3 м/с швидкості вітру.

Отже, у відповідності з отриманими результатами моделювання та кількісної оцінки процесів змішування внаслідок самозатоплення Домбровського соляного кар'єру, на його місці передбачається формування стратифікованого озера із прісноводною товщею у приповерхневій частині. За умови дотримання проектних вимог [3] з рекультивації солевідвалів та хвостосховищ мінералізація прісноводної товщі буде мінімальною.

1. Долін В. В. Прогнозування екогідрогеохімічної ситуації при затопленні Домбровського кар'єру калійних руд / В. В. Долін, Є. О. Яковлев, Е.Д. Кузьменко, Б. Т. Бараненко // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. – 2010. – № 1. – С. 74–87.
2. Гайдін А. М. Умови формування прісноводної товщі в озері на місці соляного кар'єру / А. М. Гайдін, В. О. Дяків // Збірник наукових праць Волинського нац. ун-ту ім. Лесі Українки: Природа Західного Полісся та прилеглих територій. – Луцьк, 2010. – № 7. – С. 50–64.
3. Гайдін А. М. Калуш – програма ревіталізації / А. М. Гайдін, В.О. Дяків, І. В. Чікова // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. – 2014. – № 2 (10). – С. 101–107.

*В.А. Дяків*

Львовский национальный университет имени Ивана Франко, Украина

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ САМОИЗОЛЯЦИИ БОРТОВ, ГРАВИТАЦИОННОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ И ВОЛНОВОГО СМЕШЕВАНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОЗЕРНЫХ ВОД В ПРОЦЕССЕ ЗАТОПЛЕНИЯ ДОМБРОВСКОГО СОЛЯНОГО КАРЬЕРА (г. Калуш)

Смоделировано влияние главных природных факторов, сопровождающих затопления соляного карьера в г. Калуш (Ивано-Франковская область) и отвечают за формирование химического состава озерных вод. Доказано, что в результате разрушения бортов карьера, берега и дно озера изолируются от соленосных отложений. Вследствие различия в минерализации и плотности вод на участках выщелачивания соляных минералов, происходит их гравитационная дифференциация. Мощность зоны волнового смешивания зависит от интенсивности ветров и приводит к усреднению химического состава в приповерхностной водной толще. Совместное воздействие этих процессов приводит к опреснению минерализованных вод и формирования пресноводной толщи.

*Ключевые слова: Домбровский карьер, калийные руды, затопление, растворение, самоизоляция бортов, моделирование, химический состав, озерные воды*

*V.O. Dyakiv*

Ivan Franko Lviv National University, Ukraine

### MODELING OF SELF-ISOLATION BOARD, GRAVITATIONAL DIFFERENTIATION AND WAVE MIXING THE FORMATION OF CHEMICAL COMPOSITION OF LAKE WATER BY FLOODING DURING OF THE DOMBROVSKY SALT CAREER (KALUSH)

Major natural factors that accompany flooding salt career Kalush (Ivano-Frankivsk region) is modeled and determine the formation of the chemical composition of lake water. It is proved that due to destruction of the sides and bottom of the quarry lake shores isolated from salt deposits. Gravitational differentiation observed in the differences in salinity and water density in the areas of leaching of salt minerals. Zone of mixing wave depends on the intensity of the winds and leads to averaging the chemical composition of sub-surface water layer. The joint effect of these processes leads to desalination of mineralized water and fresh-water formation in lake.

*Keywords: Dombrovski career, potash ore, flooding, dissolution, isolation sides, modeling, chemical composition, lake water*