

SUB MER GED

ДОДАТОК С



ЗАТОПЛЕНО ВІЙНОЮ:

Дослідження руйнування Каховської греблі та його наслідки для екосистеми, аграріїв, цивільного життя та міжнародного правосуддя

Експертний аналіз шкоди, заподіяної водним ресурсам та елементам довкілля внаслідок прориву греблі Каховського гідровузла

ДОДАТОК С

ДО ЗВІТУ



ЗАТОПЛЕНО ВІЙНОЮ:
Дослідження руйнування
Каховської греблі та його
наслідки для екосистеми,
аграріїв, цивільного життя
та міжнародного правосуддя

Експертний аналіз шкоди, заподіяної водним ресурсам та елементам довкілля внаслідок прориву греблі Каховського гідровузла



Катерина Бойко – кандидат геологічних наук, доцент

Сучасний підхід у процесі вивчення водно-екологічних проблем завжди розглядає підземне (підземні води) та поверхнєве (поверхнєві води) водне середовище як взаємо пов'язану систему. Так, порушення режиму однієї складової цієї системи зазвичай неминуче призводить до негативних змін у іншій. Здебільшого, це стосується лише гідрологічно пов'язаних гідроекосистем, однак повною мірою відповідає гідрологічно-гідрогеологічним умовам, які сформувалися навколо Каховського гідровузла та прируслової частини Нижнього Дніпра. Слід відмітити, що Каховське водосховище до катастрофічної події підриву греблі Каховської ГЕС являло собою саме екосистему штучної озероподібної водойми річкового басейну Дніпра (у межах суббасейну Нижнього Дніпра), не тільки рослинний та тваринний світ якої, але й гідролого-гідрогеологічні складові трансформувались впродовж близько 70 років під впливом антропогенезу. Головні зміни під впливом антропогенного навантаження, які відобразились на гідросфері – повна заміна природних умов на порушені, зарегулювання стоку нижньої течії Дніпра, регіональна зміна умов формування підземних вод, включаючи трансформацію областей розвантаження на області живлення, штучне поповнення запасів (!) підземних вод (переважно на територіях зрошення та прокладання зрошувальних систем, а також у зонах бічної інфільтрації із водосховища та руслової частини Дніпра), зміна темпів водообміну (прискорення водообміну завдяки посиленій інфільтрації) та зміна хімічної зональності геологічного середовища.

Враховуючи зазначені зміни, які, тим не менш, стабілізувались впродовж майже сторіччя і функціонували у єдиній порушеній антропогенним впливом гідролого-гідрогеологічній екосистемі, слід очікувати чутливої реакції підземної гідросфери на події, які відбулися внаслідок

підриву греблі та обміління водосховища та порушили баланс штучної системи.

На нашу думку, масштаб катастрофічності подій та гідро-екологічних наслідків підриву греблі Каховської ГЕС із подальшим обмілінням водосховища оцінений не в повній мірі, адже досі не було здійснено навіть приблизних оцінок втрат у загальному об'ємі, або ж за якісним критерієм, яких зазнали водні ресурси в зоні впливу водосховища на територіях Дніпропетровської, Запорізької та Херсонської областей. Позаяк, підземні та поверхневі води – це джерело питного водопостачання, формуюча складова водного балансу будь-яких територій, ресурси, що забезпечують функціонування промисловості та, найголовніше, є формуючим критерієм здоров'я та добробуту населення.

Умови формування водних ресурсів на територіях, прилеглих до Каховського водосховища, та у межах водозбірної площі Нижнього Дніпра

Ресурси підземних вод та водозабезпеченість

Водозбірна площа суббасейну Нижнього Дніпра, в межах якого знаходиться Каховське водосховище, має обмежені ресурси підземних вод та вод поверхневого стоку через несприятливі умови їх формування, що спричинено геологічною будовою та кліматичними факторами. Південна частина суббасейну знаходиться у зоні недостатнього зволоження, що обмежує живлення підземних вод і спричиняє дефіцит місцевого поверхневого стоку. Накладені кліматичні зміни, які характеризуються збільшенням тривалості посушливих сезонів і підвищенням середньорічних температур, сприяють формуванню біль

жорстких водно дефіцитних кліматичних умов. Безпосередньо, в зоні розташування Каховського водосховища, середньорічна температура повітря, починаючи з 80-х років минулого століття, вже підвищилась більш, ніж на 2⁰С. Найбільш істотне зростання температури повітря за останні 30 років (порівняно з 1961-1990 рр.) відмічається у січні-березні – на 1,4-1,9⁰С і червні-серпні – на 1,2-1,7⁰С. Значне зростання температурного режиму в зимовий та ранньовесняний період має негативний вплив на формування водності місцевих водних об'єктів та підвищує випаровування з них у літній період. При цьому річна кількість опадів в регіоні залишається практично незмінною із значним коливанням по роках, а потенційна евапотранспірація (випаровування) сумарно за рік збільшилась на 73 мм, з них 40 мм припадає на літній період. Наразі річна потенційна евапотранспірація в регіоні перевищує 950 мм при середньорічній кількості опадів близько 500 мм (!)¹. Тобто, дефіцити водного балансу території складає більш ніж 50%.

¹ Аналітична довідка // Інститут водних проблем і меліорації НААН України, Київ, 2023.

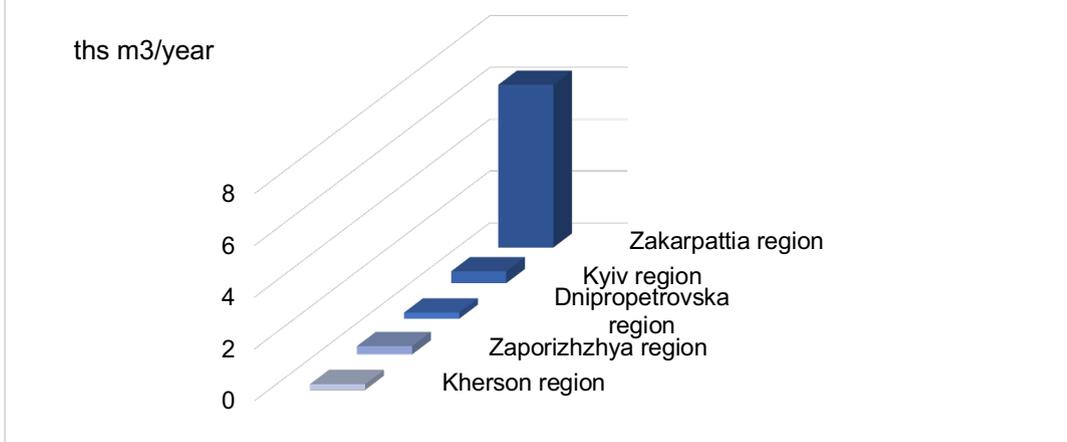


The catchment area of the lower Dnipro subbasin (the source – RBMP for the Dnipro River Maps_UA_01032021.pdf (davr.gov.ua))

Забезпеченість місцевими водними ресурсами Херсонської, Запорізької та Дніпропетровської областей у тис. м³/рік із розрахунку на одну людину за даними 2020 року становила 0,22; 0,32 та 0,24 відповідно. Для порівняння, такий самий показник для Закарпатської області дорівнює 6,29 (найвищий по Україні), а для Київської області – 0,46 тис.м³/рік на одну людину. ² Що вказує на **низьку і дуже низьку забезпеченість** поверхневим стоком південних областей.

² АНАЛІЗ ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ВОДНІ РЕСУРСИ УКРАЇНИ (повний звіт за результатами проекту). / Сніжко С., Шевченко О., Дідовець Ю. // Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2021, 68 с.

Comparison of local water resources by region



Water resources availability in the southern regions with local water resources per capita

Перспективи і можливості використання підземних вод окремих територій оцінюються на основі їх прогностичних ресурсів, які, на відміну від експлуатаційних запасів, визначаються стосовно певних умовних схем розташування водозабірних споруд, а також враховують особливості геолого-гідрогеологічних умов, такі як темпи та характер водообміну (швидкість оновлення ресурсу), якість самих підземних вод (наприклад, за мінералізацією), а також доступність ресурсів для подальшого видобутку.

Іншими словами, потенційні або прогностичні ресурси підземних вод – це певна величина відбору (при максимально можливих витратах), яку можна отримати на всій площі розповсюдження продуктивних водоносних горизонтів та яка залежить від набору умов, найголовнішими з яких є: наявність пластів з високими інфільтраційними властивостями; сприятливі (природні або антропогенні) умови живлення і поповнення запасів підземних вод; якість підземних вод (як зазначалось вище),

яка відповідає встановленим кондиціям; можливість захисту підземних вод від забруднення.

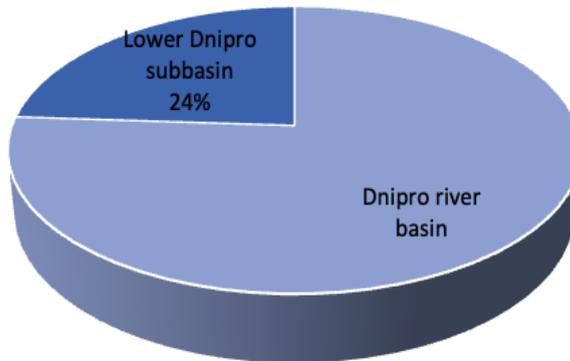
За даними, наведеними у ПУРБ (План управління річковим басейном) суббасейну Нижнього Дніпра (офіційний документ³), у межах площі водозбору, зважаючи на специфіку геолого-гідрологічної будови і умов формування підземних вод, найбільша кількість прогнозних ресурсів підземних вод (ПРПВ) приурочена до Дніпрово-Донецького та Причорноморського артезіанських басейнів, а це – Херсонська область та південь Запорізької області. Гідрологічна область Українського щита та Донецька складчаста область володіють меншою кількістю ресурсів підземних вод, - Дніпропетровська область, а також частина Миколаївської області. Відповідно до цього, ПРПВ розподілені наступним чином:

Херсонська область	2312,6 тис. м ³ /добу
Дніпропетровська область	1092,6 тис. м ³ /добу
Запорізька область	641,1 тис. м ³ /добу
Миколаївська область	120,4 тис. м ³ /добу

³ Проект плану управління суббасейном Нижнього Дніпра. Частина 1 (2025-2030). <https://davr.gov.ua/plan-upravlinnya-richkovim-baseinom-dnipra1>

Для порівняння, прогнозні ресурси Київської області оцінюються у ~ 4000 тис.м³/добу

Ratio of groundwater resources in the Dnipro sub-basin and basin



Згідно з даними регіональних оцінок, прогнозні ресурси підземних вод (ПРПВ) басейну р. Дніпро складають близько **35600 тис. м³/добу**. Це важливий стратегічний ресурс чистої, захищеної від забруднення питної води. У межах суббасейнів спеціальних робіт з підрахунку ПРПВ не виконувались, але за аналітичними розрахунками, обсяги ПРПВ суббасейну Нижнього Дніпра складають близько **8800 тис. м³/добу**, що дорівнює всього **24%** усіх ресурсів підземних вод всього річкового басейну.

Це небагато і навіть дуже небагато у порівнянні із обсягами ресурсів підземних вод Волино-Подільського артезіанського басейну, Дніпрово-Донецького артезіанського басейну, тобто центральної, північної, та північно-західної частин України.

Більш того, розподіл обсягів ресурсів підземних вод на територіях Запорізької, Дніпропетровської та Херсонської областей, що знаходяться у межах водозбірної площі Каховського водосховища та Нижнього Дніпра, - вкрай неоднорідний.

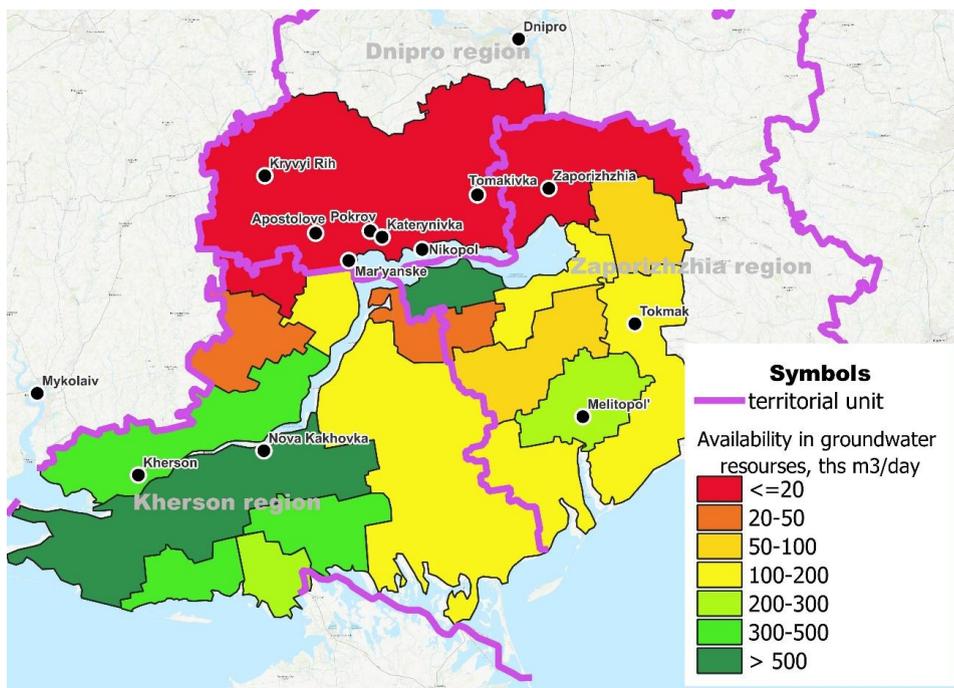
Наведений розподіл наявних обсягів ресурсів підземних вод по адміністративно-територіальних одиницях зазначених областей дозволяє виявити наступні ділянки із **незадовільним забезпеченням підземними водними ресурсами та ділянки із майже відсутніми ресурсами підземних вод кондиційної якості:**

- адміністративно-територіальні одиниці Дніпропетровської області, що розташовані в межах тріщинних вод Українського кристалічного щита та Причорноморського артезіанського басейну, - Апостолівський, Криворізький, Нікопольський, Софіївський, Томаківський райони та ін., які володіють вкрай недостатніми обсягами ресурсів підземних вод – до 1 тис.м³/добу (!), у той час, коли забезпеченість ресурсами підземних вод **м. Києва** становить ~ **900 тис.м³/добу**.⁴ Слід відмітити також, що близько 91% ПРПВ Дніпропетровської області в цілому належать до підземних вод з мінералізацією > 1 г/дм³ (від 1 до 1,5 г/дм³), у той час, коли величина ГДК для загальної мінералізації питних прісних вод (гранично-допустимих концентрацій) за державними нормативами щодо якості питних вод становить < 1 г/дм³.⁵
- Вільнянський, Запорізький, Новомиколаївський райони Запорізької області із прогнозними ресурсами <8 тис.м³/добу. Решта території Запорізької області,

⁴ Значення ПРПВ наводяться за результатами останньої здійсненої переоцінки прогнозних ресурсів підземних вод на території України, 2016 р., ДНВП «Геоінформ України», Київ.

⁵ Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10), затверджені наказом Міністерства охорони здоров'я України 12.05.2010 № 400. Державний стандарт України «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості» (ДСТУ 7525:2014), затверджені наказом Міністерства економічного розвитку України 23.10.2014 № 1257.

яка знаходиться у межах водозбору Каховського водосховища, характеризується ресурсами підземних вод у обсягах 50-200 тис.м³/добу, що також нижче за середні показники по території України.



The availability of groundwater resources in the administrative-territorial units of Dnipropetrovska, Zaporizka and Khersonska oblasts in the catchment area of the Kakhovka reservoir

Херсонська область є достатньо забезпеченою ресурсами підземних вод, порівняно із Дніпропетровською та Запорізькою областями. Основна частина ресурсів підземних вод (75% від ПРПВ області) зосереджена у її південно-західній частині, в нижній течії р. Дніпро. Менш забезпечені прогнозними ресурсами північні та північно-східні райони області (Великолепетиський, Великоолександрівський, Верхньорогачицький, Високопільський, Іванівський, Нижньосірогозький), сума прогнозних ресурсів яких дорівнює 500 тис.м³/добу, в тому числі з мінералізацією до 1,5 г/дм³- 290,11 тис.м³/добу. Але

до сьогодні водопостачання **Херсонської області** здійснювалось переважно за рахунок використання поверхневих вод (поверхневі води течії Нижнього Дніпра та Каховське водосховище), оскільки використання підземних вод обмежене їх недостатньо добрим кондиційним станом, що є результатом тривалого техногенного навантаження. Проте підземні води були головним джерелом **приватного** господарсько-питного водопостачання і експлуатувалися водозабірними спорудами ще з початку ХХ століття.

Водопостачання **Запорізької області** організоване за рахунок використання поверхневих і підземних водних джерел. Однак до 96 % від загального водовідбору здійснюється із поверхневих вод, і лише 4 % – із підземних вод. Отже, водопостачання в області здійснюється переважно за рахунок поверхневих вод. Водні ресурси Дніпра та Каховського водосховища (до підриву) були основним джерелом водопостачання промислових підприємств області, зокрема металургійного та енергетичного комплексів.

Ситуація із територіями **Дніпропетровської області**, прилеглими до Каховського водосховища, є найбільш критичною. Парадоксально, що практично за відсутності ресурсу підземної води водозабезпечення водою питної якості за рахунок підземних вод здійснювалось у Апостолівському, Криворізькому, Нікопольському, Софіївському, Томаківському районах. Тобто, для водопостачання населених пунктів, віддалених від водопровідних магістралей поверхневих вод, а також поодинокими споживачами.

Таким чином, водопостачання для задоволення питних, комунальних та господарських потреб населених пунктів у межах водозбірної площі, до якої належить Каховське водосховище, до моменту обміління здійснювалось ресурсами самого водосховища за допомогою системи водозаборів.

Якщо поррахувати середні потужності водозаборів, розташованих вздовж узбережжя Каховського водосховища, можна виявити, таким чином, загальні втрати, яких зазнала система водопостачання регіону. Саме **безповоротні** втрати, оскільки обміління водосховища не дозволяє і не дозволить у майбутньому (за безальтернативних відновленню Каховського водосховища сценаріїв) підтримувати навіть мінімально необхідні рівні води в створах водозаборів, які дорівнювали 12,7-14,5 м⁶. Отже, сума витрати водозаборів, які розташовувались у м. Нікополь, м. Марганець, м. Покров та ін., на яких здійснювався водовідбір з метою господарсько-питного водопостачання та ін. видів постачання, включаючи водопостачання до Запорізької АЕС та ТЕС, становив близько **1200-1300 млн м³/рік в останні роки перед повномасштабним вторгненням**. В той час, коли у 2021 р. за даними в системах водопостачання України функціонувало 5988 водопровідних насосних станцій із загально-середньою фактичною потужністю **4640 млн м³/рік⁷**. А потужність піднятої та поданої у мережу води систем водопостачання Дніпропетровської області – найбільшого споживача води в Україні, у 2021 р. становила лише близько **332 млн м³/рік**. Тобто, внаслідок руйнування

⁶ Правила експлуатації водосховищ Дніпровського каскаду/ А.В. Яцик та ін. – Київ, 2003.

⁷ Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2021 році.

греблі Каховської ГЕС Україна втратила чверть фонду системи водопостачання.

Меліоративний Каховський комплекс як інженерно-технічне рішення, створене для подолання дефіциту водних ресурсів півдня України

Каховське водосховище було споруджено у нижній течії р. Дніпро поблизу м. Каховка у 1956 р. не тільки задля створення гідроелектростанції, але й для подолання вододефіциту територій півдня та Криму. В цілому, проблема водозабезпечення південного регіону України на початку 60-х років минулого століття була вирішена шляхом будівництва меліоративного комплексу та комплексу каналів та систем, які беруть свій початок із Каховського водосховища.

Каховське водосховище являло собою джерело прісної води, яка постачалась у віддалені південні області потужними магістральними каналами та зрошувальними системам - Знам'янською, Каховською, Чаплинською та ін.

Із Каховського водосховища вода подавалась також до Північно-Кримського каналу (ПКК) і Каховського магістрального каналу (КМК), каналу Дніпро-Кривий Ріг, групових сільськогосподарських водопроводів у Херсонській та Запорізькій областях, для заповнення Карачунівського, Південного, Жовтневого водосховищ, які використовувались для питного водопостачання міст Кривий Ріг та Миколаїв, а також для систем водопостачання підприємств, міст і селищ Криворізького промислового комплексу.

Забезпечення дніпровською водою населення найбільш зневодненої південної частини Запорізької області, а саме: населених пунктів Якимівського, Мелітопольського, Приазовського, Приморського та Бердянського районів, а

також смт. Кирилівка, Приазовське та міста Мелітополь, Бердянськ, Приморськ із населенням 493 тис. жителів, здійснювався унікальним комплексом водопостачання - **Західним груповим водопроводом**.

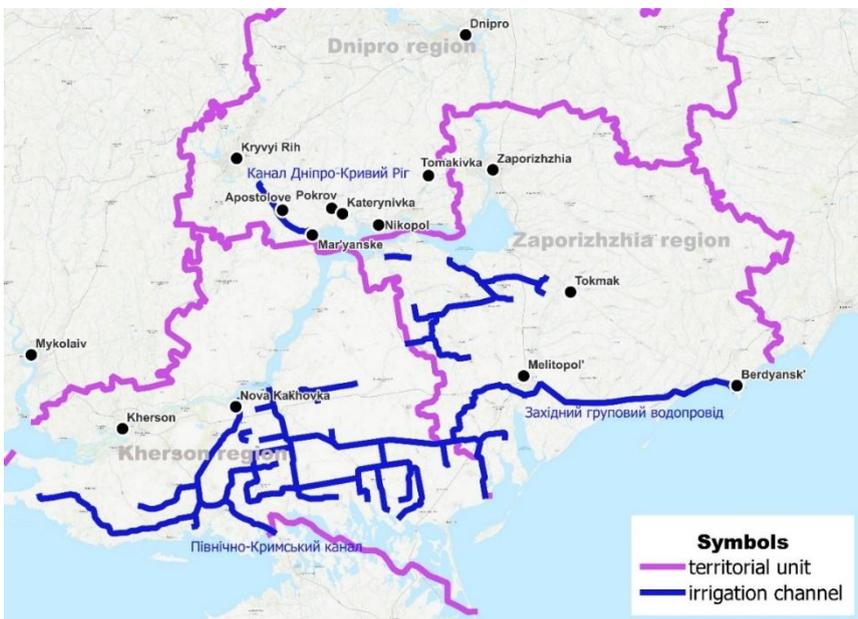
Іншим важливим водопровідним комплексом, який використовував воду Каховського водосховища, є **Іванівський груповий водопровід (ІГВ)** у Херсонській області.

Канал Дніпро-Кривий Ріг споруджений для водопостачання промислових районів Криворіжжя, зокрема вода подавалась до Південного водосховища, де вона очищувалась, після чого питна вода поступала до м. Кривий Ріг. Сьогодні головна проблема полягає у тому, що у випадку припинення функціонування даного каналу єдиним джерелом водопостачання міста стає Карачунівське водосховище, із якого поповнювалось водою Південне водосховище. Для наповнення Карачунівського водосховища використовувався канал Дніпро-Інгулець, який нині також зазнав пошкоджень і припинив водопостачання із Кременчуцького водосховища.

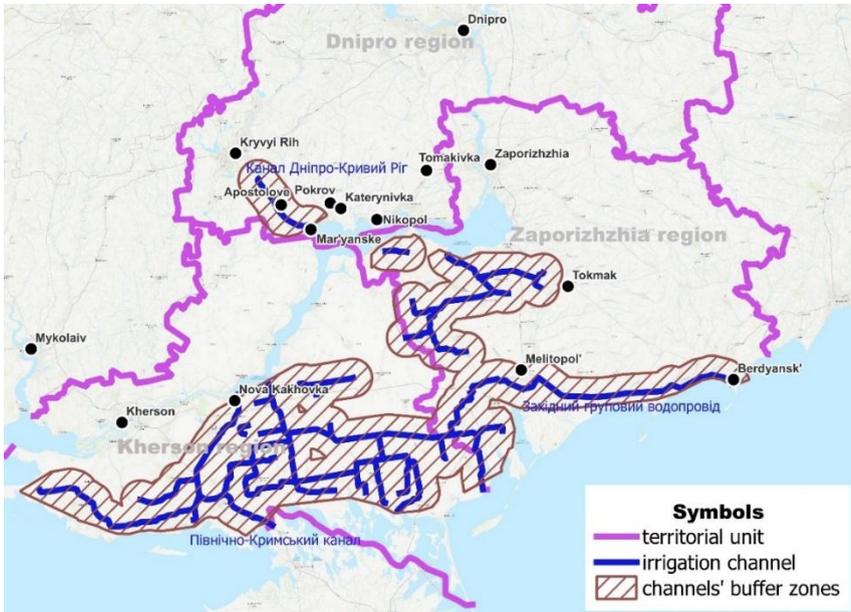
Магістральні зрошувальні канали меліоративної системи є лінійними об'єктами. Тому, враховуючи розгалуженість каналів, радіус їх впливу на землі (щільність покриття), на яких використовується полив, а також оцінені площі фільтраційних втрат із каналів і розмір формування зон додаткового живлення підземних вод, навколо векторних елементів каналів було створено буферні зони із середнім радіусом зон впливу, що дорівнює 10 км. Площа покриття, або отримана площа територій, які зазнали осушення та страждатимуть у майбутньому від вододефіциту через припинення функціонування зрошувальних систем, за попередньою оцінкою становить **1,8 млн га**. До порівняння, площа Херсонської області становить **2,8 млн га**. За результатами інвентаризації Держводагентства України, у 2013 році площа зрошувальних земель, джерелом води для

яких було Каховське водосховище, становила **1,1 млн га за проектної потужності 1,9 млн га**. Тобто, оцінені площі потенційного ураження відповідають максимальній площі земель, яка могла б бути залучена до агрокомплексу за умов повного забезпечення зрошувальної системи водою із Каховського водосховища.

Прогнозовані втрати економіки України від призупинення використання зрошення водою з Каховського водосховища оцінюються на рівні 47,0 млрд. грн. За даними Мінагрополітики у довоєнному 2021 р. на цих посівних площах було отримано 4 млн. т. зернових та олійних на суму \$1,5 млрд.



The Kakhovka irrigation system (main channels)



Buffer zones established around main channels

Вплив подальших деградаційних процесів, що виникли внаслідок обміління Каховського водосховища, на стан меліоративного комплексу

Осушення ложа Каховського водосховища, яке сталося в результаті прориву греблі Каховського гідровузла, обумовило утворення нестійких осушених ґрунтів піщано-глинистого складу. В результаті події території, зайняті Каховським водосховищем, а також прируслові території і акваторії Нижнього Дніпра нижче за течією, були осушені загалом на 80 %.

Різде осушення формує ряд негативних наслідків та є фактором розвитку хімічної та вітрової ерозії ґрунтів, а також розвитку наступних процесів:

1. Швидкого поширення агресивних інвазійних видів рослин, особливо чагарниково-деревного складу;

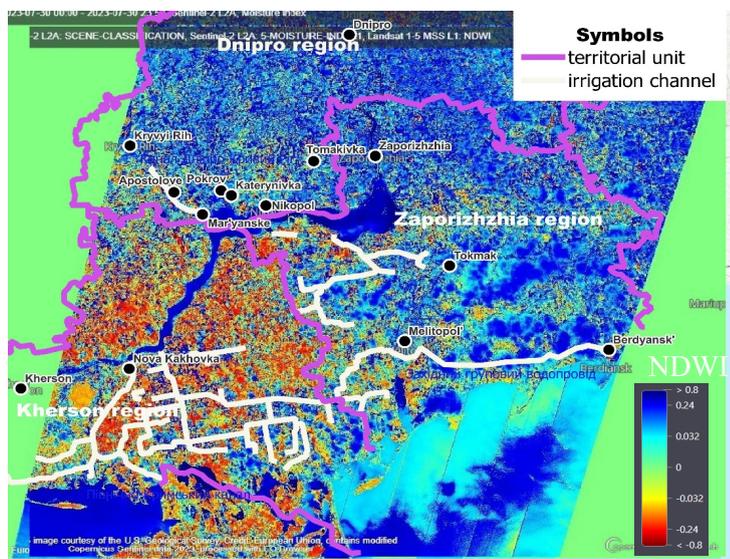
2. Розубоження ґрунтового покриву;
3. Опустелювання із відкриттям піщаного дна із подальшими змінами мікроклімату.

Високий ризик розвитку вітрової ерозії, дефляції та опустелювання підтверджують дані космічних знімків, які для досліджуваної території були підготовлені із врахуванням диференційного індексу вологості.

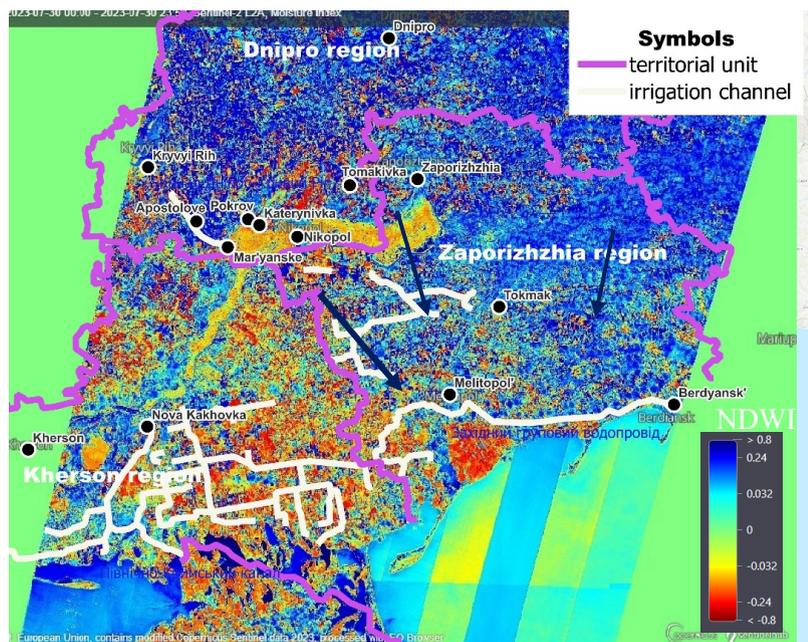
Нормалізований диференційний індекс вологості (НДІВ) використовується для визначення вмісту вологи в рослинності та моніторингу посухи. Від'ємні значення показника (які наближаються до -1) відповідають зоні відкритого ґрунту. Значення, близькі до нуля, позначають водне середовище. А високі додатні значення відповідають високому рівню рослинного покриву.

На знімку *a* продемонстровано розподіл нормалізованого диференційного індексу на територіях у зоні впливу гідро-інженерної системи станом на липень 2020 року (до підриву греблі). Знімок *b* демонструє зміну розподілу індексу вологості на тих же територіях у липні після підриву греблі. На знімки накладена система зрошувальних каналів, що належать до гідросистеми Каховського водосховища.

Наведені знімки підтверджують факт площинного розвитку посухи та деградації поверхневого ґрунтового і рослинного шару внаслідок осушення, спричиненого зневодненням Каховського водосховища і системи зрошувальних каналів, що проявляється у превалюванні індексу від'ємного значення. Збільшення величини охоплення осушених площ за космічними даними, отриманими в літній період після підриву ГЕС, у порівнянні із історичними значеннями річної мінливості за аналізом космічних даних із застосуванням оверлейного аналізу складає близько 45%.



a - Analysis of the subsurface soil moisture content within the areas adjacent to the Kakhovka reservoir, for the period July, 2020 (source: open geospatial data resource www.sentinel-hub.com)



b - Analysis of changes subsurface soil moisture content within the areas adjacent to the Kakhovka reservoir as a result of the Kakhovka dam destruction, for the period July, 2023 (source: open geospatial data resource www.sentinel-hub.com)

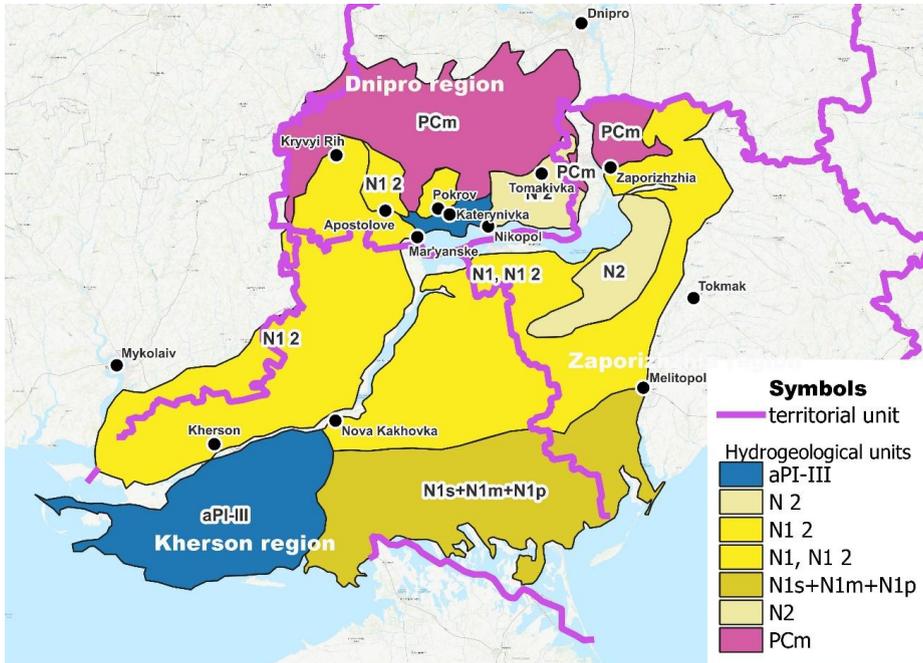
Таким чином, території Дніпропетровської, Запорізької та Херсонської областей, які виділяються у межах водозбірної площі Каховського водосховища та Нижнього Дніпра, розташовані у кліматичній зоні із недостатнім річним рівнем зволоження та характеризуються несприятливими умовами формування водного балансу, що позначається на недостатніх обсягах водних ресурсів як поверхневого, так і підземного стоку. Дефіцит кліматичного водного балансу, враховуючи негативні тенденції до зміни клімату, загрожує зменшенням модулю стоку вдвічі, до показника 2 л/с з км² і менше, а також опустелюванням територій навіть за збереження умов (поверхневого та підземного водного стоку, що формувався за рахунок такого гідро-інженерного рішення, як спорудження Каховської греблі і регулювання стоку Нижнього Дніпра), які існували до катастрофи. Підземна складова водних ресурсів території - ресурси підземних вод - розподілені вкрай нерівномірно (через особливості геолого-гідрогеологічних умов території) і не можуть забезпечити населення достатньою кількістю питної води, тим більше такої води, що використовувалась би для промислового та сільськогосподарського водопостачання. Усі водозабори Західного та Іванівського групових водопроводів прив'язані до рівнів води Каховської зрошувальної системи, який є недосяжним більше внаслідок катастрофічного обміління водосховища, а функціонування систем водопостачання регіону можливе лише за умови підтримання проектних рівнів води у водосховищі. Зазначене підкреслює, наскільки важливою була роль Каховського водосховища (так як і нині роль інших водосховищ у каскаді Дніпра) для регулювання річкового стоку та акумуляції водних ресурсів для їх господарського використання у маловодні і засушливі періоди регіонів України із природним дефіцитом водних ресурсів.

Вплив обміління Каховського водосховища на стан ресурсів підземних вод

Як зазначалося, Каховське водосховище являє собою єдину гідросистему не тільки із р. Дніпро, але й першими від поверхні водоносними горизонтами та напірними водоносними горизонтами у межах суббасейну, які мають гідравлічний зв'язок із вищезалегалими водоносними комплексами. Для територій Херсонської, південної частини Дніпропетровської та Запорізької областей прогнозні ресурси підземних вод знаходять своє відображення більшою мірою у динамічній компоненті водного балансу (динамічні ресурси підземних вод), які можуть охарактеризуватися сумарним живленням підземних вод за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, фільтрації з річок (р. Дніпро та його притоки, Каховське водосховище), а також додаткового живлення внаслідок господарської діяльності (наприклад, на масивах зрошення). Тому в результаті повного зникнення підпору Каховського водосховища, який формувався на рівні 15,0-16,0 м, відбулися і очікуються подальші падіння рівнів і напорів підземних вод, розташованих у береговій смузі, а також на інших ділянках водозбірної площі Каховського водосховища, і, відповідно, - зменшення обсягів ресурсів підземних вод.

Для того, щоб оцінити масштаб безповоротних втрат у частині ресурсів підземних вод, які відбулися і матимуть пролонгований ефект у майбутньому, необхідно звернутись до аналізу особливостей гідрогеологічної будови території та розглянути основні фактори довготривалого впливу підпору, що створювався Каховським водосховищем, на режим підземних вод.

Основним джерелом питного водопостачання на території є водоносні горизонти в неогенових відкладах, в меншій мірі палеогенових (на півночі області) та четвертинних (південно-західна частина) відкладах.



Hydrogeological zoning of the area of interest (the Kakhovka catchment area)

В цілому на водозбірних площах Каховського водосховища гідрогеологічний розріз складений наступними водоносними горизонтами та комплексами:

- Водоносний горизонт в алювіальних відкладах нижньо-верхнього неоплейстоцену надзаплавних терас р. Дніпро, пов'язаний з пісками та супісками (aPI-III);
- Водоносний горизонт у нерозчленованих відкладах верхнього та нижнього пліоцену, пов'язаний з пісками та пісками глинистими (N1 2);
- Водоносний горизонт у відкладах середньо-верхньосарматського підрегіонарусу, меотичного та понтичного регіонарусів верхнього міоцену, пов'язаний з вапняками із малопотужними прошарками мергелів та пісків (N1s2+3+N1m +N1p);

- Водоносний горизонт у відкладах середньо-верхньосарматського підрегіонарусу та мотичного регіонарусу верхнього міоцену, пов'язаний з вапняками з малопотужними прошарками мергелів та пісків (N1s2+3=n1m);
- Водоносний горизонт у відкладах середньо-верхньосарматського рідрегіонарусу верхнього міоцену, пов'язаний з вапняками черепашковими, мергелями та пісками (N1s2+3);
- Водоносний горизонт у відкладах середнього міоцену, пов'язаний з пісками, вапняками мергелями (N1);
- Водоносні горизонти тріщинуватої зони кристалічних порід докембрю (PCm).

Таким чином, територія представлена водоносним комплексом, що міститься у потужній товщі відкладів неогену, які у розрізі починаються потужною товщею нижньо-, середньосарматських глин. Вони залягають на глибинах до 100 м на півночі та до 200 м на півдні. Потужність глин збільшується з півночі на південь від 5-10 до 65-120 м. Поширені вони по всій площі і є регіональним водотривом, на покрівлі якого залягає вапняково-мергельна товща, з прошарками піску та глин понт-меотис-сарматського віку (N1s2+3+N1m +N1p).

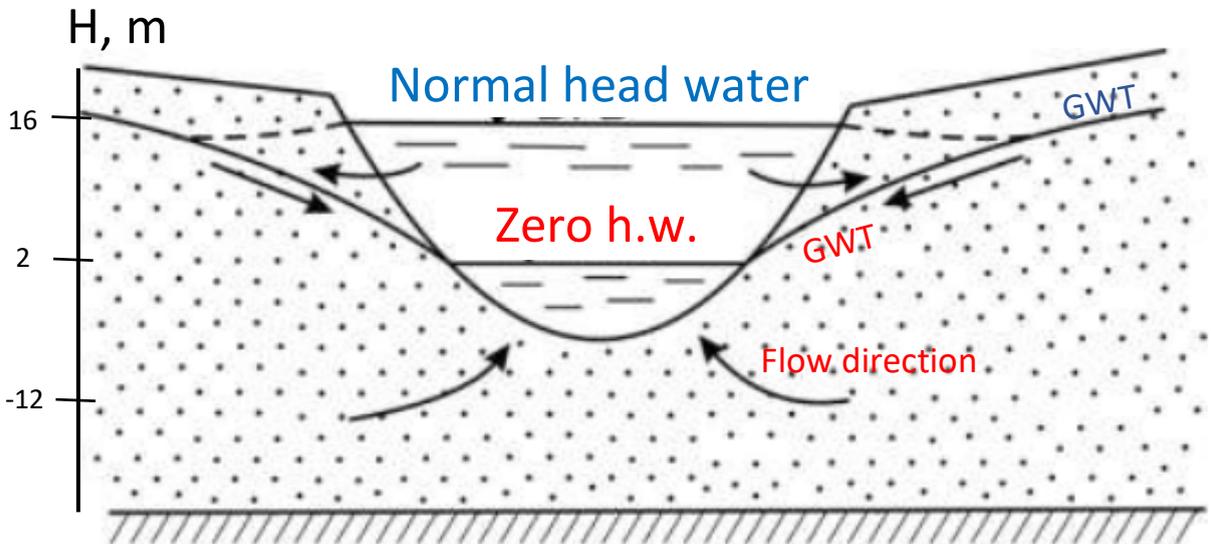
Дана товща представлена, в основному водопроникними породами, що утворюють серію водоносних горизонтів гідравлічно зв'язаних між собою, утворюючи єдиний водоносний комплекс, який відомий під назвою **основний неогеновий або верхньоміоценовий**. Потужність водовміщуючих порід верхнього міоцену збільшується з півночі на південь від 5-10 до 50-60 м на правобережжі Дніпра та від 5-10 до 200 м на лівобережжі.

На півдні в покрівлі верхньоміоценового водоносного комплексу залягає потужна товща (до 50 м) водонасичених піщано-глинистих пліоценових утворень з високими

коефіцієнтами фільтрації, яка перекрита невитриманими за потужністю пліоцен-четвертинними глинами. На глинах пліоцену залягає водоносний горизонт в еолово-делювіальних четвертинних лесовидних суглинках.

Усі існуючі руслові та берегові водозабори систем водопостачання, а також висотне розташування головних споруд каналів, прив'язані до рівнів води у Каховському водосховищі. Згідно Наказу Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України №210 від 27.05.2022 р. «Про затвердження Правил експлуатації водосховищ Дніпровського каскаду» нормальний підпірний рівень Каховського водосховища становить 16 м, а рівень мертвого об'єму - 12,7 м. При рівнях води 15,6-16,0 м – всі водокористувачі забезпечуються водою у повному обсязі.

Абсолютна відмітка рівня води у Каховському водосховищі за часів його існування становила близько 16 м. Досягнення такого рівня стало можливим після спорудження Каховської греблі і регулювання стоку Нижнього Дніпра. До спорудження греблі абсолютні відмітки дна водосховища становили 0-2 м над рівнем моря.



The conceptual model for understanding the connection between normal head water and discharge into the groundwater system (blue colors – previous normal conditions of the Kakhovka reservoir: surface waters discharge into the groundwater system; red color – the situation after the normal head of the Kakhovka reservoir dropping down – groundwaters discharge into the reservoir and groundwater table is drawing down)

Після того, як стік Дніпра був зарегульований греблею Каховського водосховища, р. Дніпро та Каховське водосховище перетворились із області розвантаження (дрени) у області живлення перших від поверхні водоносних горизонтів (за течією до м. Берислав), а подекуди – області додаткового живлення внаслідок перетікання (південно-східна ділянка від водосховища).

Тобто, з одного боку, це сприяло додатковому поповненню ресурсів підземних вод прісними річковими водами в прибережній смузі шириною до 30-50 км, з іншої – активізації процесів розчинення, вилугування, іонного обміну.

Власне інтенсивна бічна берегова фільтрація вод із Каховського водосховища сприяла утворенню лінзи

ґрунтових безнапірних вод на глинистих породах верхнього міоцену-пліоцену із глибиною знаходження дзеркала підземних вод – 5-8 м. Формування такої лінзи як додаткового джерела прісних підземних вод гідрокарбонатного кальцієвого типу та джерела додаткової вертикальної фільтрації у неогенові водоносні горизонти відбувалося протягом 10-15 років за твердженнями науковців.

Істотна зміна рівневого режиму підземних вод відбулася на лівобережжі нижнього Дніпра. Підвищення рівня ґрунтових вод було спричинене, таким чином, розвитком підпору із Каховського водосховища і зрошенням. На території лівобережжя поповнення ресурсів підземних вод середнього-верхнього міоцену було настільки інтенсивним, що водовідбір із підземних джерел повністю компенсувався підпором із Каховського водосховища і інфільтраційним живленням на масивах зрошення.

Аналіз складових балансу підземних вод водоносних комплексів неогену лівобережжя Каховського водосховища, складений у період експлуатації Каховського гідровузла дозволяє стверджувати, що інфільтраційне живлення та перетік із вищезалеганих середньо-верхньопліоценових комплексів (N 2) у продуктивний горизонт у понт-меотіс-сарматських відкладах (N1s2+3+N1m +N1p) у 1,6 разів перевищував водовідбір із останнього.

Баланс підземних вод експлуатаційних водоносних комплексів неогенових відкладів на території лівобережжя Каховського водосховища та Нижнього Дніпра, тис. м³/добу, за даними Шестопалова В.М⁸.

⁸ Водообмен в гидрогеологических структурах Украины: Водообмен в нарушенных условиях / Шестопалов В.М., Огняник Н.С., Дробноход М.І. та ін. – Київ : Наук.думка, 1991. – 528 с.

Складова водного балансу	Середньо-верхньоміоценовий водоносний комплекс (N1)		Понт-меотіс-сарматський водоносний горизонт (N1s2+3+N1m +N1p)	
Інфільтрація	-	-	521,5	-
Водовідбір	-	26,62*	-	740
Взаємозв'язок із підземними водами рівнинного Криму	2,04*	-	10,2	10,0
Взаємозв'язок із Каховським водосховищем	2,62	-	59,6	1,8
Взаємозв'язок із р.Дніпро	-	0,95	22,5	122,3
Взаємозв'язок із морем	0,24	0,09	11,2	14,1
Взаємозв'язок із водоносним комплексом середньо-верхньопліоценових відкладів (N2)	-	-	687	54,01
Взаємозв'язок із водоносним комплексом понт-меотіс-сарматських і середньоміоценових відкладів (N1s2+3+N1m +N1p)	26,36	5,56	5,56	26,36
Витрата на межі водозбірної площі (розвантаження у р.Молочна)	0,76	-	0,16	1,11
Ємнісна складова	-	-	25,4	367,24
Разом	32,22	33,22	1343,12	1336,92

***Блакитний** – додатні елементи балансу; **червоний** – від'ємні елементи балансу

Після прориву греблі обміління Каховського водосховища відбулось до критичної нульової позначки абсолютних

висот, внаслідок чого, колишня акваторія Каховського водосховища та Нижній Дніпро (внаслідок падіння величини стоку та рівня) перетворились на зону розвантаження підземних вод. За результатами польового обстеження у вересні 2023 р., виконаного науковцями Інституту геохімії навколишнього середовища НАН України, встановлений факт повного обміління приватних колодязів мешканців прибережної смуги Каховського водосховища населених пунктів Катеринівка, Нікополь, Мар'янське та ін. (правобережжя, Дніпропетровська область), що вказує на критичне падіння рівня безнапірних вод та зменшення обсягів підземних вод безнапірних водоносних горизонтів.

За відсутності підпору, яке створювалося Каховським водосховищем, а також зрошувальної системи, використовуючи нескладні аналітичні розрахунки, можна підрахувати обсяги, на які зменшаться ресурси підземних вод в основному експлуатаційному водоносному комплексі (N1s2+3+N1m+N1p) за умов відсутності інфільтраційного живлення та перетікання із вищезалягаючих середньо-верхньопліоценових відкладів.

За формулою, витрата підземного стоку одиничного елементу потоку, яка також являє собою обсяги динамічних запасів підземних вод на одиницю перерізу потоку, розраховується наступним чином:

$$Q=khI,$$

Де k – коефіцієнт фільтрації, м/добу; h – напір або висота рівня підземних вод, м; I – гідравлічний ухил, безрозмірн.

Таким чином, використовуючи фондові геологічні дані гідрогеологічних параметрів водоносних комплексів, можна оцінити витрати потоку одиничного перерізу у водоносних горизонтах алювіальних відкладів та піщаних відкладів верхнього пліоцену, які гідравлічно пов'язані із основним неогеновим водоносним горизонтом:

$$Q=2*5*0,05=0,5 \text{ м}^2/\text{добу}$$

Площа поширення водоносного горизонту чітко може бути позначена на правобережжі Каховського водосховища. Вона становить близько 30 км² (F) і виділяється у вигляді прибережних смуг.

Таким чином, загальні обсяги ресурсів підземних вод у четвертинних відкладах та верхньопліоценових відкладах, які втрачено внаслідок зникнення підпору із Каховського водосховища і, відповідно, падіння рівня, складає:

$$Q=khI*F$$

$$Q=khI*F=0,5*30000000=41\ 700 \text{ м}^3/\text{добу або } 41,7 \text{ тис. м}^3/\text{добу}$$

Для порівняння варто зазначити, що обсяги прогнозних ресурсів у межах водозбірної площі Каховського водосховища за останньою виконаною оцінкою 2016 року⁹ дорівнюють:

Прогнозні ресурси підземних вод у пліоцен-плейстоценових комплексах	47,0 тис. м ³ /добу
Прогнозні ресурси підземних вод у верхньоміоценових (середньо-верхньосарматських, меотичних і понтичних) відкладах неогену	3991,68 тис. м ³ /добу
Прогнозні ресурси підземних вод у середньоміоценових відкладах	1114,89 тис. м ³ /добу

⁹Звіт по темі «Узагальнення оцінок стану прогнозних ресурсів та експлуатаційних запасів підземних вод з використанням автоматизованої бази даних прогнозних ресурсів підземних вод України»/ ДГП «Геоінформ України»; викон. Н.А. Юркова. – К., 2001.

Таким чином, втрата ресурсу підземних вод верхнього безнапірного водоносного комплексу у четвертинних та пліоценових відкладах складає 88% усіх прогнозних ресурсів підземних вод, оцінених у пліоцен-плейстоценових комплексах. Це – **катастрофічна втрата з точки зору водного балансу території та майбутньої водозабезпеченості.**

Результати досліджень з оцінки водообміну у гідрогеологічних структурах України, дозволили виявити емпіричну величину швидкості водообміну у приповерхневому шарі гідрогеологічного розрізу. За оцінками дослідників вона становить 0,2-0,3 м/рік. В той же час, у процесі польових досліджень було зафіксовано стан водозабірних колодязів та свердловин приватних домогосподарств Дніпропетровської та Херсонської областей, які користуються переважно підземними водами першого від поверхні водоносного горизонту у четвертинних та верхньо-пліоценових відкладах. Зафіксоване суттєве падіння рівнів підземних вод (5-8 м) та повне осушення колодязів. Це вказує на загальне можливе падіння рівня на величину, яка відповідає висоті підпору від Каховського водосховища, яка може бути оцінена його колишньою глибиною, а саме 5-8,4 м. Наразі, без Каховського водосховища, цей ресурс підземних вод повністю втрачено. А у випадку гіпотетичного відновлення водосховища і наповнення Каховського водосховища, ресурси підземних вод зможуть відновитися до попереднього рівня за час (найгірший сценарій – найменші темпи водообміну, середнє падіння рівня – 6,7 м):

$$6,7 \text{ м} / 0,2 \text{ м/рік} = 33,5 \text{ років}$$

Слід зазначити, що оцінка здійснена хоч і на ґрунтовно значущих показниках, вимагає однак здійснення подальших

польових досліджень із вивченням змін режиму підземних вод та їх моніторингом на більших територіях із метою накопичення даних для створення детальної чисельної моделі геофільтрації і більш детальної оцінки збитків, завданих ресурсам підземних вод.

Засолення земель як наслідок осушення зрошувальних масивів внаслідок втрати води із Каховського водосховища і втрат ресурсів підземних вод

Виходячи із попереднього аналізу гідрогеологічних умов територій, які знаходяться у межах водозбірної площі Нижнього Дніпра, можна підсумувати, що основним колектором ресурсів підземних вод останніх є вапняки неогену зони інтенсивного водообміну.

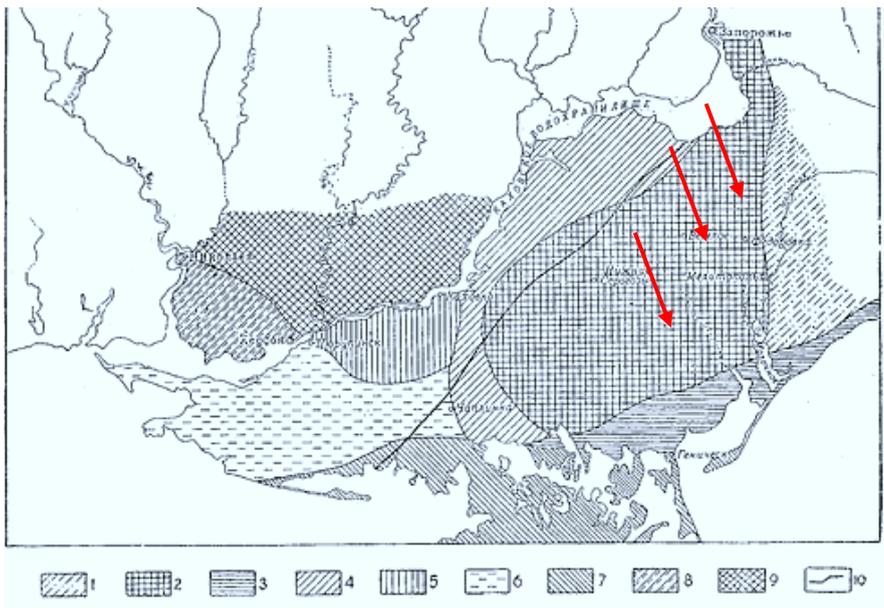
У ході історичного перебігу геологічних процесів формування структури Причорноморської западини відбувалось в аридних кліматичних умовах, пов'язаних із активним перенесенням солей шляхом імпульверизації (з поверхні, тобто шляхом перенесення солей із поверхні морів атмосферним шляхом). Поверхневі шари геологічного розрізу Причорномор'я, включаючи неогеновий комплекс, характеризується природним підвищеним вмістом солей.

Таким чином, основним джерелом розчинених у підземних водах солей є по суті водотривкі відклади, багаті солями морського походження (сліди недавніх морських трансгресій), що збереглися в породах внаслідок поганої промитості осьових зон Причорноморського басейну, особливо у південній прибережній частині.

За даними досліджень Є. Буркзера, надлишковими елементами в четвертинних відкладах регіону, порівняно з кларками для ґрунтів, є кальцій (3,88 %, кларк – 1,37 %), сірка (0,26 %, кларк – 0,09 %), хлор (0,021 %, кларк –

0,01 %). Район характеризується значним сульфатно-хлоридним засоленням всієї товщі четвертинних відкладів, підстеляючих їх пліоценових червоно-бурих глин та ґрунтових вод. Основним джерелом солей є моря та затока Сиваш. Морські солі (NaCl , Na_2SO_4 , CaCO_3 , MgCO_3) переносяться вітром і випадають на поверхні суші з атмосферними опадами та пилом. Разом з пилом на території Асканії-Нової за рік в ґрунт вноситься 8,2 кг солей на 1 га, з опадами – 285,6 кг.

Ступінь засолення ґрунтів, зони аерації та перших від поверхні незахищених водоносних горизонтів збільшується у напрямку на південь від Каховського водосховища. А потенційною зоною акумулювання надлишкових запасів солей у ґрунтах є зона сульфатно-хлоридно-гідрокарбонатних магнієво-натрієвих вод із мінералізацією 1-3 г/дм³ (зона 9 на рисунку нижче).



Hydrogeochemical scheme of the main Neogene aquifer¹⁰:

1 - chloride-hydrocarbonate and hydrocarbonate-chloride sodium and sodium-calcium waters (mineralisation 1-3 g/dm³); 2 - chloride-sulfate and sulfate-chloride magnesium-sodium and calcium-magnesium-sodium waters (1-3 g/dm³); 3 - sodium chloride (1-14.6 g/dm³); 4 - sulphate-hydrogen carbonate and hydrogen carbonate-sulphate magnesium-calcium-sodium and calcium-magnesium-sodium (0.5-1.5 g/dm³); 5 - calcium chloride-hydrogen carbonate and magnesium-calcium (0.1-0.4); 6 - calcium-magnesium and sodium-magnesium (0.1-0.6 g/dm³); 7 - calcium chloride-hydrogen carbonate and calcium-sodium-magnesium (0.1-1 g/dm³); 8 - hydrocarbonate-chloride magnesium-sodium and magnesium-calcium (1-3 g/dm³); 9 - sulfate-chloride-hydrocarbonate magnesium-sodium (1-3 g/dm³); 10 - hydrogeochemical profile line

У прибережних приазовських та присиваських районах поширені найбільш мінералізовані води, в хімічному складі яких переважають іони хлору. Джерелом хлору є легкорозчинні солі водовміщуючих порід та погано промитих порових розчинів, які переходять в розчин внаслідок тривалого контакту підземних вод з породами в умовах утрудненого розвантаження підземних вод горизонту в Азовське море та затоку Сиваш.

Навіть за умов промиву порід до глибин 5 м, яке відбувалось завдяки існуючій зрошувальній системі та додатковому інфільтраційному живленню, на території Херсонської області частка засолених земель зростала з кожним роком. Так у 2011 р. вони займали 30,5 % від загальної площі земель сільськогосподарського призначення області (1969,5 тис. га, станом на 2011 р.) У сольовому складі ґрунтів домінували сульфати, хлориди, вміст гідрокарбонатів залишається відносно стабільним. Тому відновлення засолених, солонцюватих ґрунтів було можливе тільки за рахунок забезпечення промивного

¹⁰ Баби́нец А.Е. Подземные воды юго-запада Русской платформы (распространение и условия формирования) / А.Е. Баби́нец. – К.: Изд. Академии наук УССР, 1961. – 380 с.

режиму та впровадження систем хімічної меліорації ґрунтів (гіпсування).

Науковець-гідрогеолог В. Шестопалов на прикладі Дніпровського артезіанського басейну виявив (водозбірна площа між лівобережжям Каховського водосховища і Нижнього Дніпра і р.Молочна), що вертикальна фільтрація підземних вод є важливим фактором формування ресурсів і хімічного складу підземних вод зон інтенсивного та утрудненого водообміну. **За рахунок вертикального перетікання відбувається поступове заміщення залишкових морських вод на атмосферні, що веде до опріснення мінералізованих підземних вод зони інтенсивного водообміну**, що й було доведено на прикладі межиріччя Нижнього Дніпра і р. Молочною.

Підземні води, приурочені до засолених сульфатних порід (якими є неогенові комплекси), завжди містять підвищений вміст хлористого натрію, що сприяє вилугованню гіпсу та ангідритів. Після осушення Каховського водосховища, спричиненого підривом греблі Каховської ГЕС, «промивний» фактор, яким слугувала інфільтрація вод із зрошувальних систем, у підрахованому обсязі 521 тис.м³/добу, втрачено. Зазначені обсяги являють собою ~39 % загального водного балансу територій. За умов відсутності додаткових джерел живлення, таких як бічна фільтрація із Каховського водосховища та фільтрація із масивів зрошення, структура водного балансу набуде від'ємних рис із переважаючою складовою такої статті балансу як випаровування, яке дорівнює близько 90% від'ємної складової водного балансу, тобто у середньому 300-350 мм/рік¹¹, або у перерахунку на площу поширення основного неогенового комплексу

¹¹ Звіт про оцінку стану прогнозних ресурсів та експлуатаційних запасів підземних вод в Херсонській області / ДРГП Причорноморгеологія; кер. В.Г. Тюреміна; викон.: А.В. Бруяко та ін. – Одеса, 2005. – 161 с. – № ДР робіт з геол. вив. надр У-99-69/5.

південніше від Каховського водосховища – 850 км², складає 708 тис. м³/добу.

В умовах спрацювання всіх складових водного балансу сума додатних складових дорівнює сумі від'ємних складових балансу:

$$Q_{\text{дод}} = Q_{\text{від'ємн}}$$

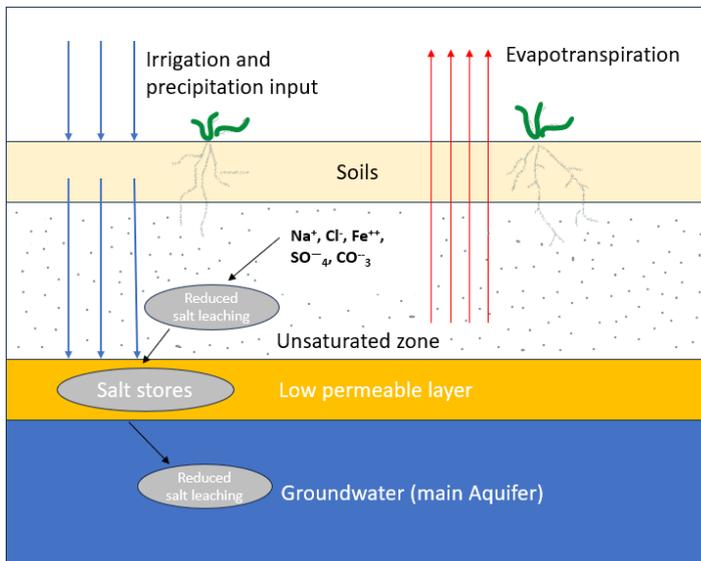
де $Q_{\text{дод}}$ – додатна складова балансу, тис. м³/добу; $Q_{\text{від'ємн}}$ – від'ємна складова балансу, тис. м³/добу

В умовах розглянутого вище сценарію, загальна нестача балансу становить 1223 тис. м³/добу, що складає 91% (!) від витрати водного балансу, яка існувала у межах площі розповсюдження основного неогенового водоносного горизонту південніше від Каховського водосховища:

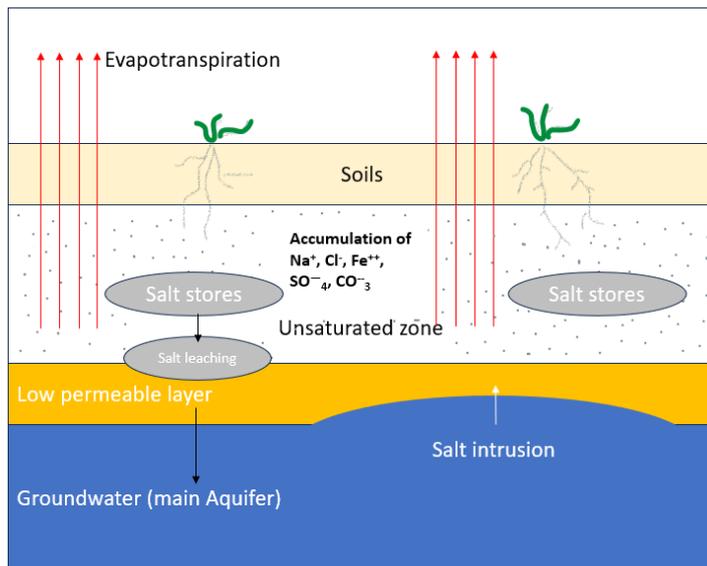
$$1343,12 - 521,5 = 1336,92 + 708^*$$

*див.таблцю балансу у тексті

Такі показники у втраті водного балансу створюють негативні умови, які сприятимуть затримці солей у ґрунтовому покриві зони аерації внаслідок інтенсифікації випаровування (див. рис.нижче). Падіння рівня підземних вод і подальше виснаження ресурсів у верхньопліоценових водоносних горизонтах, що знаходяться вище за середньонеогенові та характеризуються низькою мінералізацією, унеможливають промивання підземних вод водоносних комплексів основного неогену, які характеризуються підвищеною мінералізацією (1,5-3,0 мг/дм³). За таких умов варто очікувати формування сольових вклинювань (intrusions) у приповерхневі шари, оскільки збагачені мінералами солоні або мінералізовані води характеризуються більшим напором, що створюється тиском води у поровому середовищі, аніж прісні води.

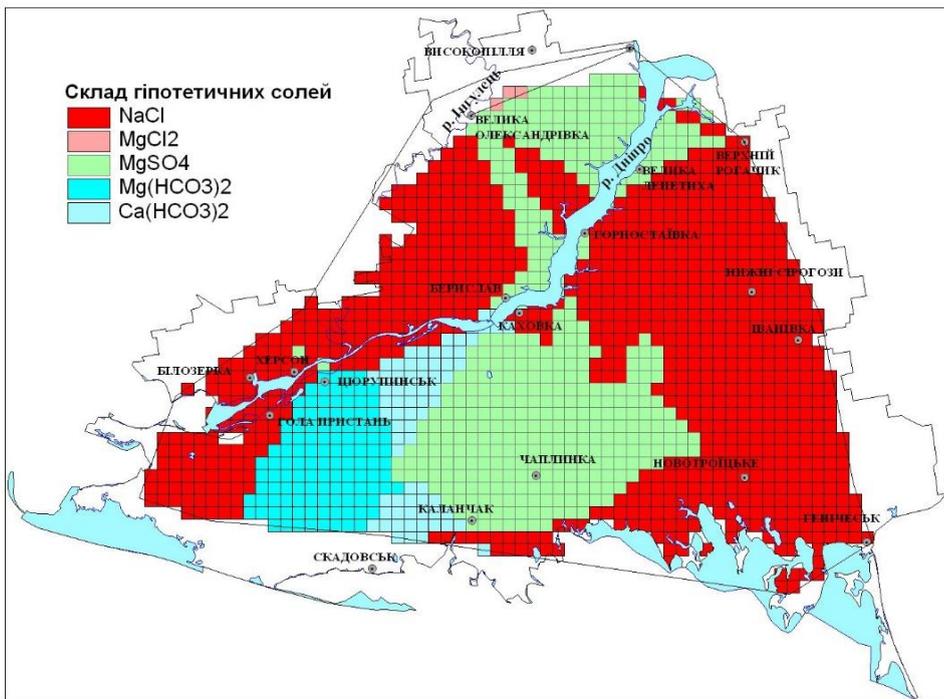


The scheme of salt transport and accumulation in soils and aquifers under normal infiltration conditions (sufficient infiltration created on irrigation massifs)



The scheme of salt transport and accumulation in soils and aquifers under the water deficit conditions caused by Kakhovka irrigation channel system disabling

За даними моделі розподілу складу основних гіпотетичних солей у питних підземних водах головного неогенового водоносного горизонту, складеної Щербак О.В., можна виявити та оцінити площу прогнозованих територій, у межах яких у подальшому, як наслідок виведення із експлуатації каховського зрошувального комплексу, а також як наслідок виснаження ресурсів підземних вод, відбуватиметься засолення ґрунтів та верхнього шару геологічного розрізу до глибини знаходження першого безнапірного водоносного горизонту.



Distribution of the composition of the main hypothetical salt in drinking groundwater of the Neogene (by Shcherbak O.V.)*

*areas, marked by red are potential areas of coming salination

Активне засолення верхньої зони водообміну було відчутним вже у перші місяці після обміління Каховського водосховища.

У ході польових досліджень були відібрані проби підземних вод та виконано їх хімічний аналіз. Результати аналізу вказують на різке погіршення якості підземних вод за критерієм мінералізації.

Відповідно до наведеної таблиці, всі проби води мають тенденцію до змін у бік кислотності, причому у більшості з них рН не відповідає нормі для води питної. Більшість проб не відповідають нормі за вмістом солей, половина – вмістом розчиненого кисню.

Таким чином, вода з підземних джерел, яка використовується населенням обстежених населених пунктів (правобережжя Каховського водосховища, Дніпропетровська та Херсонська області), не відповідає вимогам, встановленим для води питного використання. Подальше використання таких вод, окрім того, також призведе до засолення ґрунтів при поливі.

Results of field analyses of water samples from surface waters and groundwater observation points

№	Sampling point	t, °C	pH	δ , мкСм ¹² /м	Minerali zation, мг/дм ³ (ppt ¹³)	TDS ¹⁴ , мг/дм ³ (ppt)	Dissolved Oxygen мг/лО ₂
2	с. Мар'янське	20,9	6,1	3370	-	-	3,8
15	с. Мар'янське, свердловина, 18 м	16,3	6,4	5190	2900	2590	6,2
17	с. Нововоронцовка (Херсонська обл.), св. 15 м	13,6	6,32	2520	1360	1260	2,6
18	с. Нововоронцовка, колодязь 6 м	14,9	6,25	3730	2030	1960	3,3
19	с. Грушівка (Ленінське), св. 35 м	20,5	6,37	5440	3400	2720	7,1

¹² См – Сіменс: одиниця вимірювання електропровідності. 1 См – величина обернена 1 Ом (одиниця вимірювання опору)

¹³ ppt (parts per million) – частка від 1000000 – одиниця вимірювання вмісту; для води те саме, що мг/дм³ чи мг/л

¹⁴ TDS (Total dissolved solids) – загальний вміст розчинених у воді органічних і неорганічних солей

№	Sampling point	t, °C	pH	δ, мкСм ¹² /м	Minerali zation, мг/дм ³ (ppt ¹³)	TDS ¹⁴ , мг/дм ³ (ppt)	Dissolved Oxygen мг/лO ₂
20	с. Грушівка (Ленінське), колодязь 2,35 м	12,6	6,6	490	250	244	5,2
21	с. Набережне, св. 28 м	15,9	6,54	1310	680	650	4
22	с. Набережне, св. 30 м	17	6,6	1300	680	680	3,5
23	с. Покровське, св. 31 м	21,3	6,3	6590	3720	3290	4,8
24	с. Покровське, св. 29 м	15,3	6,46	5370	2900	2680	4
Threshold value			6,5- 8,5		1000		≥4