

МОДЕЛЮВАННЯ ПІДТОПЛЕННЯ ТЕРИТОРІЙ ЗА ДАНИМИ НАТУРНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ГІС- ТЕХНОЛОГІЙ

Постановка задачі. Для визначення заходів по попередженню підтоплення на даний час залишається актуальним моделювання рівня ґрунтових вод територій за даними натурних спостережень для конкретних об'єктів. Для цього було вибрано об'єкт в Каланчацькому районі, що знаходиться між Північно-Кримським каналом та р. Каланчак (рис.1). За даними Каховської ГГМЕ найбільші площі з близьким заляганням РГВ мають місце саме на території Каланчацької селищної ради, де причинами підтоплення земель є напір пліоценового водоносного горизонту, фільтрація поливної води з магістральних каналів, опади та полив присадибних ділянок і сільськогосподарських угідь [1].

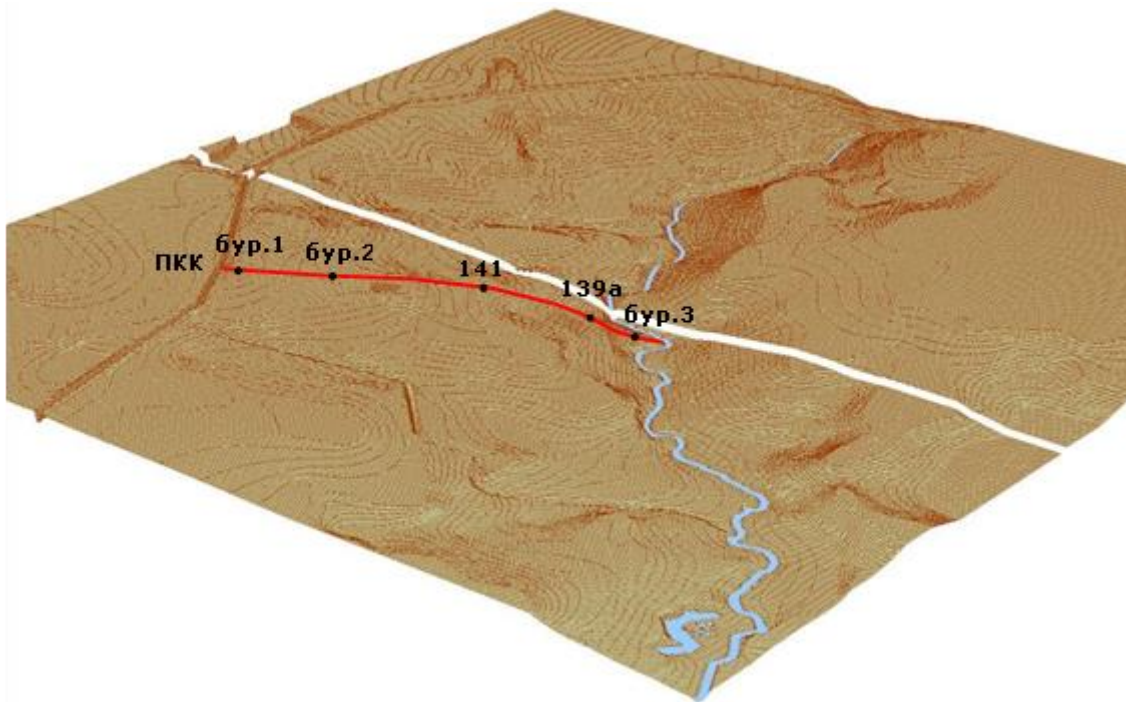


Рис. 1. Цифрова модель рельєфу (ЦМР) об'єкта досліджень (сmt. Калачкак та прилеглі території)

Зокрема, останнім часом особливо підсилилося напірне живлення ґрунтових вод знизу за рахунок пліоценового водоносного горизонту [1], що має місце і в сmt. Каланчак. Це підтверджує необхідність вивчення гідрогеологічних процесів на основі математичного моделювання з використанням ГІС-технологій.

Характеристика об'єкту моделювання. На основі вивчення геологічних перерізів і конструкцій свердловин вертикального дренажу (рис.2 та 3) була встановлена фізична модель, на основі характеристики товщі відкладень, до якої приурочено водоносний горизонт.

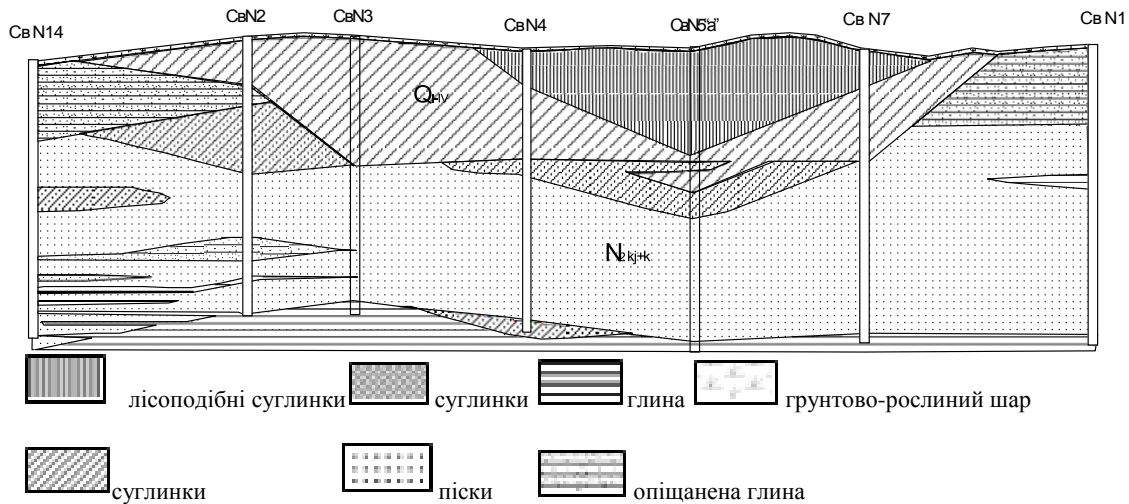


Рис. 2. Геологічний переріз через ряд свердловин вертикального дренажу в смт. Каланчак.

Фізична модель показує, що товща відкладень 6-19 м до водоносного горизонту складається в основному із суглинків, лесоподібних суглинків та опіщаних глин з невеликими коефіцієнтами фільтрації. Територія підтоплюється в основному за рахунок тиску, який створюється в напірному водоносному горизонті. Під дією потенціалу цього тиску ψ_p , а також капілярно-сорбційного потенціалу ψ_m , що створює капілярну кайму, вода піднімається в товщі суглинків з напірного горизонту.

Отже, повний потенціал тиску ґрунту в товщі до водоносного горизонту складається із компонентів

$$\Phi = \psi_g + \psi_m + \psi_p, \quad (1)$$

де ψ_g - гравітаційний потенціал; ψ_m – капілярно-сорбційний (всмоктуючого тиску) потенціал, векторна сума капілярних і сорбційних сил твердої фази ґрунту та її скелету; ψ_p - потенціал тиску (вище рівня ґрунтових вод рівний нулю), який діє проти сили земного тяжіння в зв'язку з напірним характером водоносного горизонту.

Потенціал тиску ψ_p , що діє в водоносному горизонті, в результаті роботи вертикального дренажу частково зменшується, знижується до нуля або може змінювати знак, тобто створюються умови перетікання вологи з верхніх шарів ґрунту в безнапірний водоносний горизонт в зоні впливу свердловини.

ґрунтово
рослинний
шар

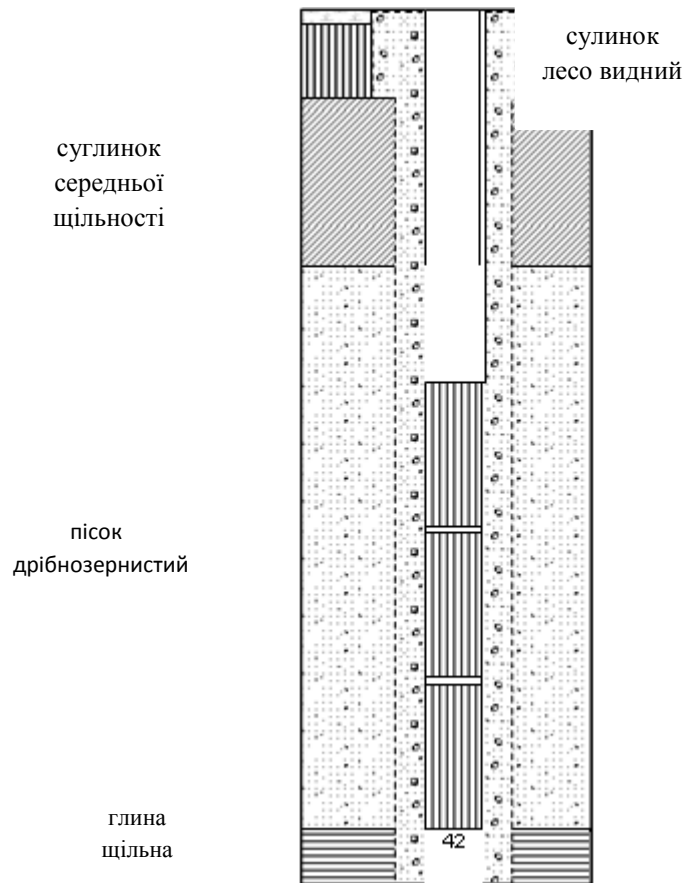


Рис.3. Геологічний розріз і конструкція свердловини №7. Принципова схема роботи вертикального дренажу у двошаровій моделі.

Математична модель фільтрації для дослідження ефективності вертикального дренажу. Математична модель фільтрації в такому разі повинна складатись з системи рівнянь і враховувати процеси насичено-ненасиченого вологоперенесення в шарі ґрунту до напірного горизонту та процеси зміни напору у водоносному горизонті в результаті відкачки вод дренажною свердловиною.

Як відомо, рух води в насичено-ненасичених ґрунтах відбувається згідно закону Дарсі:

$$q = -k \theta \frac{\partial \Phi}{\partial z}, \quad (2)$$

де $\Phi = \psi_g - \psi_m - \psi_p$ - при умові, що вісь z направлена вниз; $k(z, \theta)$ - коефіцієнт вологоперенесення або гідравлічна провідність ґрунту, що є функцією об'ємного вмісту води в ґрунті θ та властивостями

грунту в точці z .

Використовуючи рівняння Дарсі для потоку води в насичено-ненасиченому ґрунті та рівняння нерозривності для нестискуваної рідини в нестискуваному шпаруватому середовищі, яка виражає собою закон збереження води в елементарному об'ємі ґрунту:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \frac{\partial q}{\partial z} - I_{\theta}, \quad (3)$$

отримаємо диференціальне рівняння в частинних похідних відносно невідомої функції вологості $\theta(z, t)$, яка описує насичено-ненасичений водний потік в ґрунтовому профілі:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial z} \left[-k(z, \theta) \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right] - I_{\theta}, \quad (4)$$

де θ - об'ємна вологість ґрунту, $\text{м}^3/\text{м}^3$; I_{θ} - об'єм води, який видаляється з одиниці об'єму ґрунту за одиницю часу (в основному це споживання води рослинами та фізичне випаровування).

Використовуючи те, що при певному виборі одиниць вимірювання, гравітаційна складова повного потенціалу Φ рівна висоті z , тобто $\Phi = z - \psi_m - \psi_p$, одержимо рівняння для негетерогенного середовища:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial z} \left[-k(z, \theta) \frac{\partial (z - \psi_m - \psi_p)}{\partial z} \right] - I_{\theta}, \quad (5)$$

відоме як основне рівняння руху ґрунтової води. Дане рівняння використовується для опису руху води в негетерогенному середовищі [2], тобто коли $k = k(z, \theta)$, $\psi = \psi(z, \theta)$.

При неусталеній відкачці в напірному пласті має місце рівняння:

$$\alpha \left(\frac{\partial^2 H}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial H}{\partial r} \right) = \frac{\partial H}{\partial t}, \quad (6)$$

При початкових і крайових умовах:

$$\begin{cases} H = H_0, \text{ при } t = 0; \\ Q = 2\pi kT \frac{\partial H}{\partial r} \Big|_{r=r_0} = H_0, \text{ при } t > 0 \end{cases} \quad (7)$$

$r = r_0$

— —

Система рівнянь (5, 6, 7) описує якісні і кількісні процеси роботи вертикального дренажу. Більш детальне моделювання дозволить значно ефективніше здійснювати управління роботою вертикального дренажу.

ГІС для моделювання підтоплення територій за даними натурних спостережень. Для побудови карти глибини залягання рівня ґрунтових вод нами пропонується між спостережними свердловинами створювати триангуляційну сітку та виконувати розрахунки між ними за допомогою формул гідрогеологічних розрахунків [3,4].

Всередині кожного трикутника, між спостережними свердловинами, розрахунок виконується з використанням методу сіток розв'язання задачі Діріхле для рівняння Лапласа [3].

Також, за допомогою методу сіток будується цифрова модель рельєфу (ЦМР), але для її створення використовуються горизонталі рельєфу, які є граничними значеннями для розрахунків. Спостережні свердловини в цьому випадку заносяться на ЦМР у вигляді точок із зазначенням абсолютних відміток поверхні землі кожної свердловини.

Таким чином, узагальнений алгоритм методу побудови карт на основі специфічної ГІС складається з наступних етапів:

1.Перевіряється гіпотеза квазістаціонарного руху (зміни рівня ґрунтових вод), виходячи з гідрогеологічних умов та даних вимірювань в спостережних свердловинах.

2.На основі планового розташування та технічних (паспортних) даних спостережних свердловин, які входять до постійно діючої спостережної мережі гідрогеолого-меліоративної експедиції для вимірювання рівня ґрунтових вод, будується триангуляційна сітка (мережа) даної території.

3.Між окремими точками трикутника, що знаходяться в триангуляційній сітці, будуються криві депресії за формулами [3,4].

4. Для області трикутника розв'язується задача Діріхле для рівняння Лапласа, в якій граничними умовами першого роду є поверхні натягу на сторонах трикутника.

5. Будується поверхня натягу, за стандартною методикою проводяться гідроізогіпси і будується карта рівня ґрунтових вод.

З використанням даного принципу побудована карта глибин залягання першого від поверхні водоносного горизонту досліджуваного об'єкту (рис.4).

Перевірка точності методу моделювання рівнів ґрунтових вод з використанням формул гідродинамічного розрахунку. Для оцінки ефективності і точності методу моделювання здійснено порівняння поверхні рівня ґрунтових вод, яка отримана за результатами натурних спостережень, з апроксимуючими поверхнями, побудованими з використанням формул гідродинамічного розрахунку та методом лінійної апроксимації.

З цією метою вибрано об'єкт (рис. 4), для якого виконується стаціонарний (квазістаціонарний) режим рівнів ґрунтових вод та описується рівнянням Лапласа. Для даного об'єкта були проведені заміри рівня ґрунтових вод в спостережних свердловинах (св. 139а, 141) та додаткових бурових свердловинах (бур.1,2,3). Крім того визначені гідрогеологічні характеристики об'єкта (коефіцієнти фільтрації, відмітка водоупору).

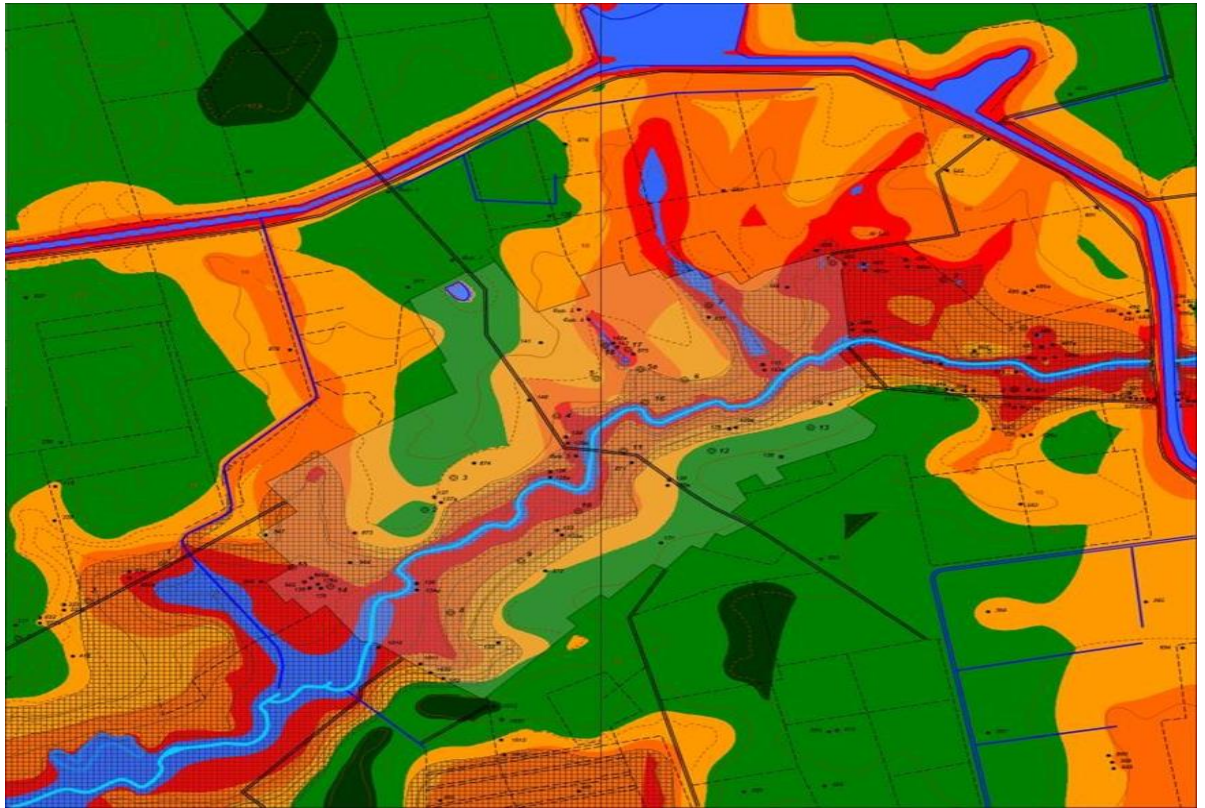


Рис. 4. Карта глибини залягання першого від поверхні водоносного горизонту в смт. Калачак та прилеглих територій станом на 16.07.2008.



 розповсюдження п'єзометричного напору пліоценового водоносного горизонту над поверхнею землі.

Проведено моделювання поверхні рівня ґрунтових вод (з урахуванням даних в двох крайніх точках: бур. 1 та рівнем води в р.Каланчак) за розробленим методом з використанням формул гідрогеологічних розрахунків та за методом лінійної апроксимації. В результаті розрахунків одержані поверхні натягу залягання рівня ґрунтових вод (рис. 5а). Поверхні апроксимації, які одержані за цими методами, порівнюються з фактичними замірами у чотирьох точках (бур.2, св. 141, св. 139а, бур. 3). Точність обох методів досліджена за модулем середньої абсолютної та середньої відносної похибками.

Модуль абсолютної похибки в точці за різними методами розраховується за формулою, відповідно для методу лінійної апроксимації та для методу з використанням формул гідрогеологічних розрахунків:

$$\Delta h^j = |h_{\text{факт}}^j - h_{\text{розра}}^j| \quad (8)$$

$$\Delta h^j = \left| \frac{\sum_{j=1}^n h_{\text{факт}}^j \cdot \exp\left(-\frac{z}{a}\right)}{n} - h_{\text{розра}}^j \right|, \text{ м} \quad (9)$$

де Δh^j - модуль абсолютної похибки в j -й точці; h - фактичне

значення h в j -й точці; $h_{\text{факт}}^j$ - фактичне значення h в j -й точці; $h_{\text{розра}}^j$ - розрахункове значення h в j -й точці; n - число точок; z - глибина вимірювання; a - параметр, який залежить від фізико-геологічних умов.

розробленим методом з використанням формул гідрогеологічних розрахунків або за методом лінійної апроксимації; n - число

розрахункових точок.

Модуль середньої відносної похибки за множиною точок n

розраховується за формулою:

$$\begin{aligned}
 & \text{факт} \\
 & \text{М } h^j \\
 & \left[\begin{array}{l} \text{і} \\ \text{д} \\ \text{н} \end{array} \right] = \frac{\sum_{j=1}^n |h_j^{\text{розр}} - h_j^{\text{факт}}|}{n} \cdot 100\% \quad (10)
 \end{aligned}$$

Встановлено, що моделювання рівнів ґрунтових вод за розробленим методом з використанням формул гідрогеологічних розрахунків є на порядок більш точним, ніж розрахунок за методом лінійної апроксимації. Зокрема, за значенням модуля абсолютної похибки були отримані наступні результати: метод з використанням формул гідрогеологічних розрахунків – 0,134 м; метод лінійної апроксимації – 1,23 м. За значенням модуля середньої відносної похибки 2,61% та 21,14% відповідно.

Аналіз стану та причини підтоплення в смт. Каланчак. За даними Каховської ГГМЕ для Каланчацького району, розширення площ підтоплених земель, як зрошуваних, так і богарних, не залежить від величини водоподачі на зрошення, а має прямий взаємозв'язок з ростом напорів пліоценового водоносного горизонту і з сумою атмосферних опадів [1].

Побудована нами математична модель та карта РГВ досліджуваної території смт. Каланчак на основі розробленої ГІС дозволила зробити ряд висновків щодо невідкладних заходів по боротьбі з підтопленням на даному об'єкті.

Зокрема, вплив Північно-Кримського каналу (ПКК) на процеси підтоплення в смт. Каланчак полягає у істотному поповненні пліоценового водоносного горизонту інфільтраційними втратами води з каналу, оскільки сам канал проходить по підвищених елементах рельєфу. Проте, як показали наші дослідження, вплив каналу не є визначальним.

Значний негативний вплив на підтоплення створює балка, що проходить через східну частину смт. Каланчак, неподалік від ДНС 7. Балка знаходиться в надзвичайно заболоченому стані. Крім того, каскад самовільно облаштованих у цій балці ставків, призначених для поливу сільськогосподарських культур, здійснює додатковий підпір і обводнення верхньої частини четвертинних відкладень.

Суттєве водопониження на 0,69 м з абсолютної відмітки 5,44 м до 4,75 (рівень води в скидному каналі) в районі спостережної свердловини 139а, виконує скидний канал, який знаходиться між ДНС

17 та ДНС 18. Проте, при роботі ДНС 17 та ДНС 18 за рахунок надходження відкачаної дренажної води її рівень в водоприймальній споруді підвищується і скидний канал працює в зворотному напрямку, створюючи підпір ґрунтових вод по всій його довжині.

Отже, на нашу думку, для більш ефективної експлуатації скидного каналу необхідно провести його реконструкцію, а саме: виконати розчистку та поглиблення дна каналу, знизити відмітки дна водоприймальної споруди або створити систему примусової відкачки дренажної води, привести відмітки дна каналу до єдиного похилу по всій його довжині, що потребує проведення земляних робіт, особливо на його початку в районі бур. 4.

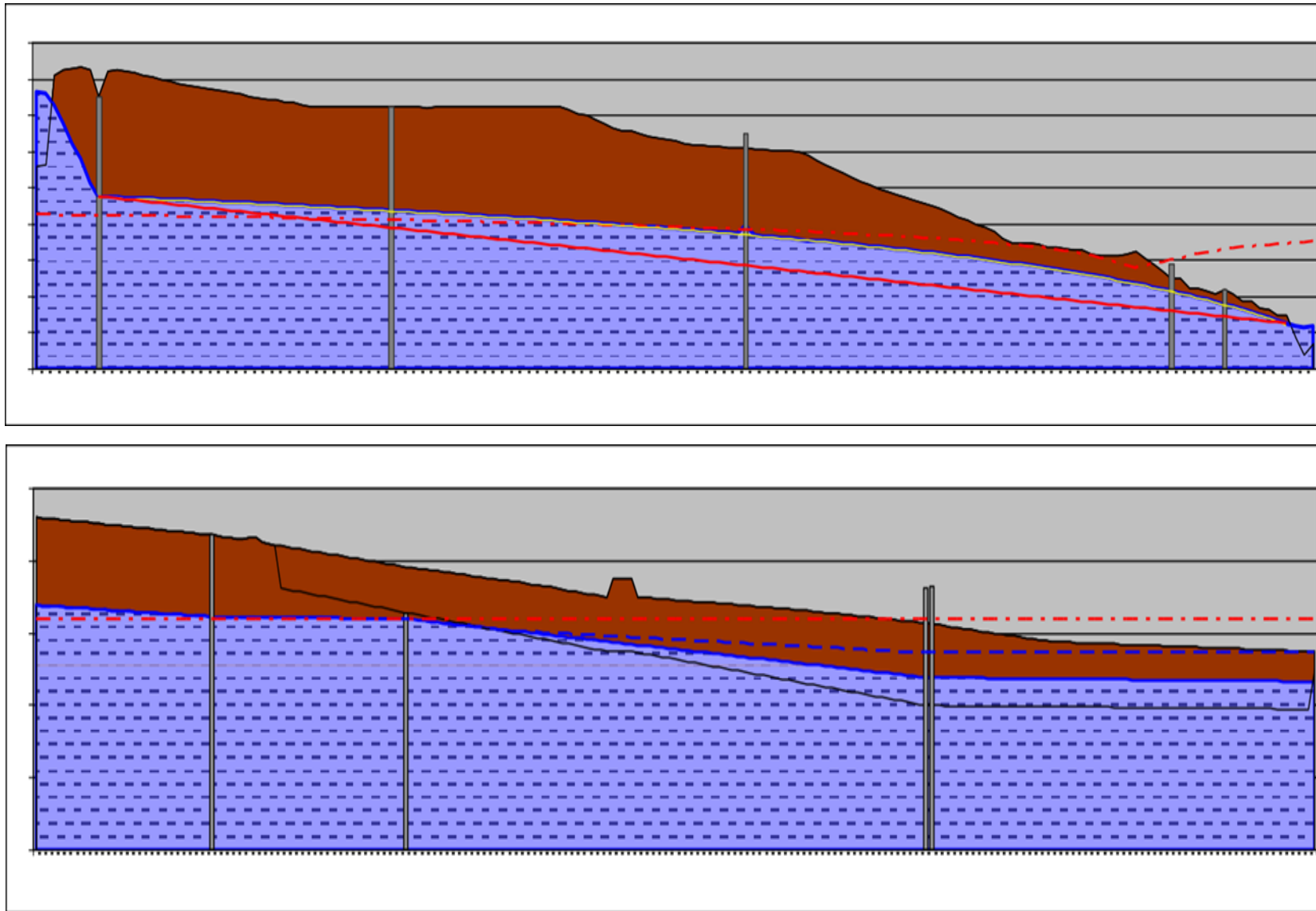
Аналіз показав, що смт. Каланчак захищено дев'ятнадцятьма свердловинами вертикального дренажу, з них Каховською ГГМЕ рекомендовано до роботи у 2008 році вісімнадцять свердловин. Внаслідок зношеності обладнання і відсутності лімітів електроенергії максимальна кількість одночасно працюючих свердловин не перевищувала десяти. Під час проведення польових досліджень (з

14.07.08 по 20.07.08) працювало всього чотири ДНС (4, 5а, 10, 11).


У зв'язку з тим, що пліоценовий водоносний горизонт має значну потужність (25-35 м) і знаходиться у пісках, які характеризуються великою водопроникністю, необхідна одночасна робота великої кількості свердловин вертикального дренажу для зменшення п'єзометричного напору водоносного горизонту і пониження рівня ґрунтових вод.

На непрацюючій під час досліджень ДНС 16, яка знаходиться в 75 м від р.Каланчак, відбувався самовилив. Відмітка п'єзометричного напору над дренажною станцією становить 2 м. Через це можна зробити припущення, що на площі розповсюдження п'єзометричного напору пліоценового водоносного горизонту над поверхнею землі більше двох метрів можна очікувати аналогічний результат. Розташування самовиливних свердловин в зоні трьох – чотирьох метрового перевищення п'єзометричного напору над поверхнею землі дозволить збільшити їх експлуатаційний дебіт.


Рис.5
Поздовжні
профілі
першого та
другого
створу




а – Північно-Кримський канал – р. Каланчак; б – частина створу вздовж скидного каналу в смт. Каланчак від каналу Х-4 до р. Каланчак;

 – рівень п'єзометричного напору пліоценового водоносного горизонту;

 – рівень води в ґрунті вздовж скидного каналу;

 – вільна поверхня води вздовж скидного каналу;

 – дно скидного каналу.

Більша частина існуючих ДНС знаходяться або поза зоною перевищення п'єзометричного напору над поверхнею землі або в зоні, яка дорівнює одному метру.

Висновки.

1. Для аналізу кількісних і якісних процесів підтоплення територій запропонована математична модель, що враховує процеси вологоперенесення у верхньому шарі ґрунту до напірного пласта, що доповнюється моделлю неусталеної та усталеної відкачки в напірному пласті.

2. Розроблена ГІС дозволяє проводити аналіз та оцінку об'єктів підтоплення (меліорованих територій) і рекомендувати невідкладні заходи по боротьбі з підтопленням.

Зокрема, як показали дослідження в смт. Каланчак необхідно:

- провести розчищення та поглиблення р. Каланчак для зниження рівня води та збільшення її дренажної здатності;
- виконати розчищення та поглиблення скидного каналу;
- провести заміну каскаду самовільно облаштованих у східній балці ставків призначених для поливу сільськогосподарських культур, на водозабірні свердловини;
- здійснити розробку проекту будівництва групи самовиливних свердловин, для зменшення підпору пліоценовим водоносним горизонтом.

Список літератури:

1. Рябцев М.П. Схема районирования зоны устойчивого подтопления приморских территорий херсонщины и северного присивашья // Меліорація і водне господарство, 2007.-Вип.95, с.167-176.

2. Яцик М.В., Ковальчук В.П. Принципи застосування математичних моделей вологоти теплопереносу при обґрунтуванні технологій підґрунтового зволоження // Вісник УДАВГ, Спецвипуск. Рівне - 1998. –С.174–177.
- 3 .Полубаринова–Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод. Изд. 2-е, Главная редакция физико–математической литературы издательства «Наука», М., 1977, 664 стр.
4. .Скабалланович И.А. Гидрогеологические расчеты. – М.: Углетехиздат, 1954.– 388с
- 5 .Рябцев М.П. Схема районирования зоны устойчивого подтопления приморских территорий херсонщины и северного присивашья // Меліорація і водне господарство, 2007.-Вип.95, с.167-176.
- 6 .Яцик М.В., Ковальчук В.П. Принципи застосування математичних моделей вологоти теплопереносу при обґрунтуванні технологій підґрунтового зволоження // Вісник УДАВГ, Спецвипуск. Рівне - 1998. –С.174–177.
- 7 .Полубаринова–Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод. Изд. 2-е, Главная редакция физико–математической литературы издательства «Наука», М., 1977, 664 стр.
- 8 .Скабалланович И.А. Гидрогеологические расчеты. – М.: Углетехиздат, 1954. – 388с.