

УДК 624.152.612

МОДЕЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПІДТОПЛЕННЯ ҐРУНТОВИМИ ВОДАМИ МІСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

*С. В. Телима, канд. техн. наук;
Н. Ю. Ревякіна
(Інститут гідромеханіки НАН України)*

Приведена методика модельних досліджень процесів підтоплення ґрунтовими водами міських територій. Як приклад, представлені основні результати по оцінці гідрогеодинамічного стану басейну Совської балки в м. Києві методами математичного моделювання.

Виконано моделювання та прогноз підйому рівнів ґрунтових вод із врахуванням основних факторів, що формують підтоплення даної території.

Запропоновано рекомендації по захисту окремих ділянок балки від підтоплення для умов реконструкції каскаду ставків та підйому рівнів води в них до проектних відміток.

Приведена методика модельных исследований процессов подтопления ґрунтовыми водами городских территорий. Как пример, представлены основные результаты по оценке гидрогеодинамического состояния бассейна Совской балки в г. Киеве методами математического моделирования.

Выполнено моделирование и прогноз подъема уровней ґрунтовых вод с учетом основных факторов, формирующих подтопление данной территории.

Предложены рекомендации по защите отдельных участков балки от подтопления для условий реконструкции каскада прудов и подъема уровней воды в них до проектных отметок.

The methodic of the model investigations of the submergence processes of the urban territories by the ground waters is proposed. As an example, the main results of the evaluation of the hydrogeodynamic state of the Sovky gorge basin in Kiev by the methods of the mathematic modelling are presented.

© С. В. Телима, Н. Ю. Ревякіна, 2011

The modelling and prognose of the uprising of the ground water levels taking into account the main factors, forming the submergence on the given thertitory are carried out.

The recommendations on the submergence protection of the separate parts of the gorge at the reconstruction of the ponds complex and at the uprising of the water levels in its to project marks are proposed.

В Україні проблемам підтоплення ґрунтовими водами міських територій та населених пунктів приділяється значна увага. Про серйозність питання свідчить і Постанова Верховної Ради України від 6.03.2003 року «Підтоплення земель в Україні». Приведена методика модельних досліджень процесів підтоплення ґрунтовими водами міських територій. Як приклад, представлені основні результати по оцінці гідро геодинамічного стану басейну Совської балки в м. Києві.

Виконано моделювання та прогноз підйому рівнів ґрунтових вод із врахуванням основних факторів, що формують підтоплення даної території.

Запропоновано рекомендації по захисту окремих ділянок балки від підтоплення для умов реконструкції каскаду ставків та підйому рівнів води в них до проектних відміток.

The methodic of the model investigations of the submergence processes of the urban territories by the ground i: проблеми та шляхи подолання» [12]. Як показує аналіз існуючих даних, на території нашої держави підтоплено великі площі сільськогосподарських угідь, безліч населених пунктів та промислових об'єктів [7, 11, 15].

Підтопленню присвячено багато наукових робіт та матеріалів. Так, узагальнення цього явища на сучасний період та аналіз його впливу на екологічний стан прилеглих територій в регіональному плані можна знайти в роботах Дезірона О. В. [7], Паламарчука М. М. і Накорчєвної Н. Б. [11], Шевчука В. Я. [17] та інших [8, 12, 13, 15]. В роботах Анпілова В. Е. [1], Гаршиної З. П. і Дзекцера Є. С. [4], в інших методичних матеріалах і рекомендаціях розглянуто як загальні, так і окремі питання проблеми підтоплення, включаючи аналіз умов його формування, основних причин і факторів, що впливають на нього, і закінчуючи дослідженням підтоплення окремих об'єктів та територій [3, 5, 8, 13, 14]. Роботи

Болгова М. В. та ін. [2], Дегтярьова Б. М. [6], Ломакіна Є. А. та ін. [9], Олійника О. Я. та ін. [10] присвячені розробці методів розрахунку дренажних систем, як основного засобу ліквідації підтоплення, та прогнозування цього процесу. Слід зауважити, що на сучасному етапі досліджень процес підтоплення доцільно, на наш погляд, розглядати як зміну водообміну, обумовлену природними і, в більшій мірі, техногенними факторами і з цієї точки зору більшість приведених вище першоджерел можна вважати в деякій мірі застарілими.

В даній роботі проведено аналіз закономірностей формування підтоплення ґрунтовими водами, характерних для окремих ділянок або міських територій на основі сучасних підходів до дослідження складних процесів, до яких в повній мірі можна віднести і процеси підтоплення. Розглянуто окремі етапи формування підтоплення і пропонується методика його прогнозування на основі методів математичного моделювання.

У загальному плані до основних причин, що обумовлюють підтоплення забудованих територій, можна віднести наступні [3, 8]:

1. Організаційно-технічні, які пов'язані з неповною і неякісною інформацією про об'єкти досліджень та подальшою незадовільною якістю робіт на території будівництва при інженерно-екологічних вишукуваннях, безпосередньо при забудові та процесі експлуатації;

2. Прогнозовані, що пов'язано з перспективним будівництвом нових промислових об'єктів на даній території та організацією їх функціонування та водозабезпечення;

3. Природні, що обумовлені конкретними природними умовами на території забудови (інженерно-геологічні, гідрогеологічні і гідрокліматичні), в яких ведеться будівництво промислових об'єктів та їх подальша експлуатація. Слід додати, що недостатнє врахування природних умов може проявитися при подальшому проектуванні, будівництві та експлуатації визначеної території.

Для повного аналізу умов формування підтоплення доцільно попередньо розглянути передумови його виникнення, а саме:

1. На стадії будівництва — порушення умов поверхневого стоку при вертикальному планування території забудови, вилучення природних дрен, проведення земляних робіт, а також сповільнені темпи будівництва;

2. При експлуатації — формування витоків різного походження на території забудови та порушення умов поверхневого і підземного стоку при відсутності дощової каналізації.

До основних природних факторів, завдяки яким формується процес підтоплення можна віднести наявність слабо проникних ґрунтів та їх прошарків, відносно близьке до поверхні землі положення водоупору та низька ступінь дренажності території.

В цілому процес підтоплення слід розглядати як досить складний і який можна розділити на декілька етапів:

- перший етап — початок підтоплення. Під час інженерної підготовки території та будівництва виявляються локальні підняття ґрунтових вод у вигляді окремих куполів, які формуються, як правило, під котлованами, в місцях значних витоків чи накопичення поверхневого стоку.

- другий етап — початок експлуатації задоволеної території. На цьому етапі спочатку відбувається розтікання куполів ґрунтових вод, які сформувалися під час будівництва, а потім спостерігається підйом їх рівнів на периферійних ділянках цих куполів. За наявністю живлення ґрунтових вод різного походження та відсутності поверхневого стоку з'являються нові куполоподібні підняття ґрунтових вод по всій території забудови.

- третій етап — в процесі подальшої експлуатації забудови відбувається злиття окремих куполів та загальний підйом рівнів ґрунтових вод по всій її території.

Підйом рівнів ґрунтових вод на перших двох етапах має випадковий характер і тому його прогнозування є досить складним. Більш вірогідний прогноз можна провести на основі дослідження третього етапу підтоплення. Проведення прогнозних розрахунків на цьому етапі дозволяє передбачати основну тенденцію подальшого підйому рівнів ґрунтових вод в умовах визначеного техногенного навантаження.

Крім виділених вище етапів підтоплення слід розглядати ще два періоди часу, протягом першого з них підйом рівнів ґрунтових вод та зростаюча вологість ґрунтів ще не впливають на будівництво і експлуатацію об'єктів і територій, тобто, вологість та рівні ґрунтових вод ще не досягли своїх критичних значень, і другий — коли має місце негативний вплив вказаних вище факторів.

Як правило, перший період триває приблизно 15—25 років. Якщо за цей період рівні ґрунтових вод не досягають критичних значень, то досліджувану територію можна умовно вважати потенційно непідтоплюваною, оскільки за цей час в основному і формується підтоплення.

Протягом другого періоду процес підтоплення продовжується і є найбільш небезпечним, так як при цьому проявляються несприятливі для забудов та окремих ділянок наслідки підтоплення.

Таким чином, формування підтоплення залежить в цілому від характеру змін природних умов на підтоплюваних територіях та від особливостей техногенного впливу на них протягом визначеного періоду часу.

Як показує накопичений досвід, для міських територій основними факторами техногенного впливу є інфільтраційні втрати вод господарського та промислового водовикористання, посилення підземного стоку шляхом штучного дренажу, водовідбір води для господарсько-технічних потреб, а також інженерне освоєння територій, включаючи освоєння їх підземної частини [6, 14].

Безумовно, що основним методом дослідження підтоплення є його своєчасне прогнозування. На наш погляд доцільно розглядати початковий етап інженерно-геологічних досліджень та основний етап безпосереднього проведення прогнозування. Попередньо рекомендується виконати аналіз розвитку самого процесу підтоплення.

На початковому етапі необхідно провести роботи, направлені на дослідження та вивчення спеціальних та опублікованих матеріалів по геології, тектоніці, гідрогеології, геоморфології, кліматі, водозабезпечення об'єктів, а також на детальне вивчення картографічних матеріалів різного масштабу.

Натурні дослідження на даному етапі повинні складатись із обстеження територій та аналізу даних по підтопленню (періодичному чи постійному) підземних комунікацій, поверхневому водовиявленню, обстеженню водопровідної та каналізаційної мережі і т. ін. При цьому провадяться контрольні виміри рівнів ґрунтових вод та їх інструментальна прив'язка.

На основі аналізу отриманих матеріалів і даних обстежень визначається характер та об'єми подальших гідрогеологічних досліджень. Протягом цього етапу рекомендується виконати достатній

комплекс вишукувальних робіт для підвищення достовірності процесу прогнозування.

Для міських територій необхідно звернути увагу на визначення оптимального об'єму вишукувальних робіт, що включають буріння достатньої кількості свердловин по основних профілях та характерним геоморфологічним елементам.

Відстань між профілями вибирають від 150 до 300 м, а між свердловинами — від 30 до 60 м в залежності від неоднорідності літологічного складу водовміщуючих порід. Інтерпретація даних буріння та дослідних випусків із свердловин повинна дати вірогідну інформацію щодо гідрогеологічних умов досліджуваної ділянки і водоносних горизонтів, які в тій, чи іншій мірі приймають участь у підтопленні визначеної території.

Сліз зазначити, що на сучасному рівні наукових досліджень основну увагу потрібно звернути на підвищення рівня вивченості об'єктів прогнозування. Це дозволить більш обґрунтовано виконати необхідні геофільтраційні розрахунки та прогнозування на основі математичного моделювання.

Основний етап прогнозування полягає у модельних дослідженнях розвитку процесу підтоплення. При цьому вважається, що підтоплення формується як єдиний гідродинамічний процес в межах визначеної території та існуючих природних граничних умовах. В результаті вибирається відповідна геофільтраційна схема та чисельні моделі, які найбільш адекватно відповідають природним умовам об'єкту.

Спочатку модельні дослідження провадяться для оцінки джерел формування підтоплення та ідентифікації геофільтраційних умов підтопленої території, тобто, до визначення ступені обґрунтованості вибраної розрахункової схеми та відповідності вибраного закону руху ґрунтових потоків реальним гідрогеологічним умовам. Важливим елементом цих досліджень є уточнення і визначення коефіцієнтів водопровідності основних водоносних горизонтів, як основної їх геофільтраційної характеристики. В теорії моделювання геофільтраційних процесів розв'язки задач ідентифікації зводяться до розгляду так званих інверсних та обернених задач геофільтрації [16, 17]. При цьому, до інверсних задач відносяться задачі по уточненню та визначенню коефіцієнтів водопровідності і водовіддачі, а до обернених — задачі по визначенню джерел

інфільтраційного живлення, втрат із водонесучих комунікацій, або інших внутрішніх граничних умов. Ці розв'язки можуть бути досить неоднозначними, що пов'язано із самою природою задач ідентифікації [17]. Основні труднощі при розв'язках таких задач полягають у обмеженості кількості вірогідних вхідних даних, необхідних для обґрунтованого прогнозування підтоплення методами моделювання.

На практиці модельні дослідження при прогнозування розвитку підтоплення зводяться до розв'язків лінійних і нелінійних стаціонарних і нестаціонарних задач геофільтрації, які описуються диференційними рівняннями еліптичного та параболічного типу.

В результаті розв'язку лінійних стаціонарних задач, коли відтворюється процес підтоплення для умов стабілізації рівнів ґрунтових вод, уточнюються та визначаються фільтраційні характеристики водовміщуючих порід і з'ясовуються місцезнаходження та інтенсивність джерел підтоплення.

Розв'язки нелінійних стаціонарних задач дозволяють досліджувати процес підтоплення до досягнення умов стабілізації ґрунтового потоку. При цьому прогноуються положення рівнів ґрунтових вод для умов вже сформованої фази підтоплення.

При моделювання нелінійних нестаціонарних задач, коли відтворюється динаміка підтоплення, уточнюються фільтраційні характеристики, прогноуються розвиток підтоплення у часі і виконується безпосередньо прогноз у вигляді імітаційних моделей потенційної підтопленості [3, 9, 16]. Вказані моделі потенційної підтопленості доцільно будувати для аналізу можливого розвитку підтоплення на перспективних ділянках забудов цивільного і промислового будівництва.

Моделі прогнозування рівнів ґрунтових вод бажано створювати для ділянок, для яких відомі строки їх введення в експлуатацію. При цьому доцільно проводити гідродинамічний аналіз ділянок, в межах яких відтворюється процес підтоплення, в послідовності забудови нових об'єктів на них. При цьому розглядаються і оцінюються можливі втрати із водонесучих комунікацій, як перспективні джерела техногенного живлення ґрунтових вод, шляхом розв'язку обернених задач геофільтрації і масопереносу [3, 10, 36]. Доцільно завершувати відтворення процесу прогнозного підтоплення на етапі його повної стабілізації.

Як приклад застосування основних положень запропонованої методики дослідження процесів підтоплення міських територій в умовах щільної забудови розглянемо підтоплення території Совської балки в м. Києві.

Проблема прогнозування можливої підтопленості даної ділянки виникла у зв'язку з будівництвом нового житлового масиву у цьому районі та з рішенням місцевих органів про створення в межах балки зони відпочинку з організацією мережі ставків та відповідним переплануванням визначеної ділянки міста [18]. З цією метою була створена гідрогеодинамічна модель території Совської балки.

Досліджувана територія досить насичена різними гідротехнічними спорудами, основними з яких є каскад ставків в Совській балці та в балці Проня.

У зв'язку з будівництвом військового житлового містечка по вул. Народного Ополчення держадміністрацією м. Києва було прийнято ряд рішень щодо очищення та благоустрою території Совської балки. Відповідні матеріали та рішення відображені у звітах Інститутів «Укрводопроект» [18].

Як показав аналіз існуючих проектно-вишукувальних матеріалів та проведені натурні спостереження території балки, сучасний гідроекологічний стан балки і, в першу чергу, ставків не відповідає необхідним санітарним вимогам.

Будівництво зливного колектора у верхів'ї балки та теплотраси змінило рельєф балки у цій частині ставки № 1 і № 2 практично перестали існувати. Згідно проекту Інституту «Укрводопроект» замість розчистки ставків № 1 і № 2 була проведена розчистка русла існуючого струмка по дну бувших ставків аж до третього ставка із закріпленням його дна та відкосів кам'яним мошенням, а територія частково підсипана та спланована. Практично розчистці по заповненню підлягають тільки ставки №№ 3, 4, 5.

У звіті [18] досить детально описані водогосподарські заходи щодо благоустрою території балки і ставків. Коротко ці заходи зводяться до:

- реконструкції земельних дамб, в минулому гребель ставків № 1 і № 2;
- ліквідації старих водовипускних споруд;
- будівництві нових водовипускних споруд;

- проведення заходів по благоустрою ділянок бувших ставків № 1, № 2 і № 2а (підсіпка та вертикальне планування);
- розчищення ставків № 3 і № 4 та реконструкція гідровузлів ставків № 3 і № 4;
- розчищення ложа ставків № 5 та реконструкція водоскидної споруди із урахуванням сучасного стану споруд, прилеглих територій та водовідвідного тракту;
- благоустрій території з метою перетворення її на зону відпочинку.

Безумовно, що основним елементом благоустрою буде заповнення ставків та підтримання на території відповідного гідро екологічного режиму.

Незадовільний гідроекологічний стан території балки зумовив погіршення природної схеми дренажування як поверхневого, так і підземного стоку, що призвело до підтоплення вказаної території.

До підтоплених ділянок балки можна віднести також ділянку колишнього ставка №6 та прилеглу до нього територію в районі вулиць Кіровоградської і Колоскової. На цій місцевості рівні ґрунтових вод знаходяться близько поверхні землі, що підтвердилось в процесі натурного обстеження балки. Підтопленість ділянки обумовлена відсутністю стоку, а також засміченістю існуючого уздовж правого схилу струмка, який у даному випадку повинен був виконувати роль горизонтальної дрени для перехоплення бічного стоку з правого схилу балки.

Таким чином, за сучасним станом по території балки мають місце прояви підтоплення окремих її ділянок, що обумовлено, в основному, слабкою ефективністю існуючих водовипускних споруд додатковим техногенним навантаженням на ґрунтовий потік за рахунок новобудов, погіршенням природної схеми поверхневого і підземного стоку в долину р. Либідь в районі Червонозоряного проспекту та вулиці Кіровоградської. Заповнення ставків №№ 3, 4, і 5 до проектних відміток порушить існуючий режим ґрунтових вод і призведе до підтоплення нових ділянок балки.

Тому важливим є своєчасне прогнозування змін гідрогеодинамічних умов на території балки з метою розробки відповідних рекомендацій по запобіганню та ліквідації цього небажаного явища.

Територія Совської балки геоморфологічно відноситься до правого схилу долини р. Либідь, яка впадає в р. Дніпро. У

верхів'ях балка досить вузька, завширшки 100 м з крутими, покритими рослинністю схилами, а в нижній частині — широка до 300—350 м зі слабким уклоном і забудованими схилами [18].

Клімат району помірно-континентальний, середньорічна температура повітря 7,2°C, середньорічна величина атмосферних опадів — 685 мм. Величина випаровування з водної поверхні за сезон становить відповідно 5,10 і 25% забезпеченості 759, 722 і 668 мм, а сумарне випаровування з поверхні суші — 490 мм/рік.

З точки зору геологічної будови, територія Совської балки розташована на схилі Українського кристалічного масиву в зоні його зчленування з Дніпровсько-Донецьким артезіанським басейном [14, 18]. Таке місцезнаходження і визначає геологічну будову даної території.

Основним геологічним елементом осадової товщі є регіональний водотривкий шар, який складається з порід київського мергелю, що залягають на відмітках 107—112 м на глибинах від 15 до 30 м від поверхні землі [14, 18]. Вище товщі київських мергелів залягають піски харківської та полтавської свит, алювіально-делювіальні, озерно-болотні та техногенні відклади порід різної структури.

Алювіально-делювіальні відклади складають заплаву частину балки і представлені супіском, піском, рідше суглинком потужністю до 5—12 м. В цій товщі мають місце прошарки торфу, мулу і замулених пісків потужністю 0,5—2,5 м.

До складу техногенних ґрунтів можна віднести піски, супіски і суглинки, з яких переважно складаються земляні дамби та греблі на даній території.

Аналіз інженерно-геологічних даних по території балки показує, що осадова товща вище регіонального водотривкого шару досить неоднорідна, особливо стосовно її фільтраційних характеристик. Окремі відклади товщі малопотужні і не витримані по площі. Тому при схематизації природних умов її доцільно розглядати як єдиний осадовий шар із середніми геофільтраційними параметрами.

В межах Совської балки гідроекологічні умови характеризуються наявністю єдиного водоносного горизонту ґрунтових вод в осадовій товщі вище регіонального. Ґрунтові води прісні, гідрокарбонатно-хлоридні, кальцієво-магнієві та кальцієво-натрієві, слабоагресивні стосовно бетонів будь-якої щільності [14, 18].

В основі гребель і водоскидних споруд залягають неоднорідні за щільністю та літологічним складом ґрунти балкового алювію — піски дрібні до пилюватих іноді за торфовані, водонасичені, а також супіски від твердих до текучих і суглинки переважно легкі від напівтвердих до м'якопластичних. В товщі балкового алювію спостерігається горизонт озерно-болотних утворень, представлених торфом та мулом потужністю 0,5—3,8 м.

Водонасичена товща ділянок ставків представлена алювіально-делювіальними пісками, супісками і суглинками потужністю 10 м і більше. Підстеляються вони полтавськими пісками, дрібними, пилюватими, глинистими, а в місцях їх розмивання харківськими глауконітовими пісками, дрібними, пилюватими, глинистими. Коефіцієнти фільтрації алювіально-делювіальних відкладів по даним кушових випусків змінюються від 2,9 до 10,7 м/добу і в середньому становлять 6,0 м/добу.

Режим ґрунтового потоку можна вважати близьким до стаціонарного. Основний потік направлений в бік долини р. Либідь. Перепад ґрунтових вод від верхів'я балки до ділянки нижніх ставків становить близько 30 м [18].

Основними факторами, що впливають на режим ґрунтового потоку в межах балки є боковий притік зі сторони схилів та інфільтраційне живлення змішаного походження (атмосферні опади плюс техногенна інфільтрація).

У сучасному стані ґрунтовий потік частково дренується системою ставків і далі транзитом потрапляє в р. Либідь.

Водоносний горизонт має недосконалий зв'язок зі ставками, так як на їх дні існує закольматований шар донних відкладів, що ускладнює взаємозв'язок поверхневих та ґрунтових вод.

В цілому ґрунтовий потік та каскад ставків складають єдину гідравлічно зв'язану водоносну систему, яка на даний момент часу знаходиться у відносно стаціонарному стані.

На даній території об'єктом досліджень є водоносний горизонт ґрунтових вод, що гідравлічно зв'язаний з поверхневими водоймищами існуючої системи Совських ставків. Тому для моделювання була вибрана схема одношарового пласта.

У розрізі нижньою межею області фільтрації вибрана покрівля ізолюючого шару київських мергелів. Верхньою межею області є поверхня землі.

На вільній поверхні ґрунтових вод задаються граничні умови другого роду, що моделюють інфільтраційне живлення водоносного горизонту, а на нижній межі — теж граничні умови другого роду ($q=0$).

В плані межами області фільтрації вибрані схили балки по відміткам поверхні землі 155—165 м у верхів'ях балки і по відміткам 130—135 м у пониззі балки. Оскільки водоносний горизонт ґрунтових вод має регіональне поширення, то в межах виділеної області фільтрації по її контуру приймалися граничні умови першого роду для умов стаціонарної фільтрації, а взагалі, водоносний горизонт можна схематизувати як необмежений в плані.

Внутрішніми граничними умовами в області фільтрації є контури ставків, їх взаємозв'язок з ґрунтовим потоком моделюється граничними умовами третього роду.

В процесі підготовки та адаптації створеної моделі були вивчені та проаналізовані матеріали щодо геофільтраційних умов району. Так, були проаналізовані матеріали гідрогеологічної зйомки району масштабу 1:200000, матеріали регіональної оцінки експлуатаційних запасів підземних вод для водозабезпечення м. Києва, дані досліджень проектних і науково-дослідних установ та інших організацій [14, 18].

Слід відмітити, що незважаючи на значну кількість первинних матеріалів, характерною їх рисою є низька достовірність, що змусило провести додатковий аналіз вхідних даних для визначення та уточнення основних геофільтраційних параметрів ґрунтового потоку.

Крім того, розглядалися та аналізувалися дані про режим ґрунтових вод, коливання рівнів води у ставках, дані про дренажний стік і т. ін.

В результаті систематизації даних були вибрані наступні значення геофільтраційних параметрів ґрунтового потоку: потужність 10—15 м, коефіцієнт водовіддачі 0,1, коефіцієнт фільтрації 6 м/добу, коефіцієнт рівнепровідності 60—120 м²/добу.

Що стосується коефіцієнту інфільтраційного живлення, то його значення вибиралось як різниця між атмосферними опадами та випаровуванням по даному району і приймалось рівним 130 мм/рік або 0,0005 м/добу. Ця величина близька до даних по інфільтраційному живленню для території м. Києва, приведених в роботах [14, 18].

Слід відмітити, що величина інфільтраційного живлення вибрана з запасом, так як в умовах вузької долини, якою є Совська балка, основний об'єм атмосферних опадів у вигляді поверхневого стоку транзитом поступає в р. Либідь через існуючі водовипускні споруди, а інфільтрація в ґрунт може скласти 15—25% його об'єму [18].

При підйомі рівнів води в ставках до проектних відміток відбувається підвищення рівнів ґрунтових вод в межах впливу підпору і на ділянці Совської балки деякий час буде спостерігатись неусталений режим фільтрації.

Для такого потоку справедливе рівняння Бусинеска [5, 13]:

$$\mu \frac{\partial h}{\partial t} = k \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + w, \quad (1)$$

де h — потужність ґрунтового потоку над його горизонтальним водотривким шаром у перетині на момент часу t ; k — коефіцієнт фільтрації водоносних порід; m — коефіцієнт водовіддачі ґрунтів в межах коливання капілярної плівки і рівня ґрунтових вод; w — інтенсивність живлення ґрунтових вод зверху (інтенсивність інфільтрації атмосферних опадів, які поступають на дзеркало ґрунтових вод).

Рівняння (1) є нелінійним і на практиці часто змінюється лінійним рівнянням виду:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = a \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{w}{\mu}. \quad (2)$$

Так як нас цікавить зміна напору ґрунтових вод при підйомі рівнів води в ставках, то перепишемо рівняння (2) у вигляді (3), використовуючи метод суперпозиції [1, 5]:

$$\frac{\partial \Delta H}{\partial t} = a \frac{\partial^2 \Delta H}{\partial x^2} + \frac{w}{\mu}, \quad (3)$$

де $\Delta H = H - H(x,0)$ — зміна напору води у перетині, яка відбувається за час t ; $H(x,0)$ — початковий напір води у перетині

на початковий момент часу t_0 ; w — інтенсивність живлення ґрунтових вод зверху, яка задається миттєво після $t = 0$ і залишається постійною протягом усього розрахункового часу t ; a — коефіцієнт рівнепровідності, $a = kh_{cp}/m$; h_{cp} — середня потужність потоку ґрунтових вод.

Рівняння (3) має аналітичні розв'язки для визначених граничних умов.

Для крайових умов:

$$t = 0, \Delta H = 0; \quad (4)$$

$$t > 0, x = 0, \Delta H = bt, \quad (5)$$

де b — постійна у часі швидкість зміни рівнів ґрунтових вод на границі потоку,

$$t > 0, x = \infty, \frac{\partial \Delta H}{\partial x} = 0, \quad (6)$$

розв'язком рівняння (3) буде наступний вираз:

$$\Delta H = \Delta H^0 R\left(\lambda + \frac{wt}{\mu}(1 - R(\lambda))\right), \quad (7)$$

де ΔH — зміна рівнів ґрунтових вод в перетині за час t ; ΔH^0 — зміна рівнів ґрунтових вод за той же час на границі потоку або в початковому перетині ($x = 0$); $R(\lambda = 4t^2 \operatorname{erfc} \lambda)$.

У багатьох випадках при прогнозуванні підпору, обумовленого підйомом рівнів води в каналі чи водоймищі, можна використовувати припущення щодо миттєвого формування підпертого режиму фільтрації. Тоді, для одношарового пласта з постійною водопровідністю, $T = km$, підпор $\Delta H(x, t)$ на відстані x від водоймища на заданий момент часу визначається як [3, 5, 6]:

$$\Delta H(x, t) = \Delta H^0 \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{at}}\right), \quad (8)$$

де ΔH^0 – підпор безпосередньо біля водоймища, а $\operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{at}}\right)$ –

спеціальна табульована функція [6].

Рівняння (7) і (8) розв'язується чисельно-аналітичним способом з використанням спеціальних програм для розрахунків функцій $R(l)$ і $\operatorname{erfc}(l)$.

Аналіз режимних спостережень показав, що у сучасних умовах ґрунтовий потік в межах балки можна вважати близьким до стаціонарного. Для цього було побудовано і проаналізовано тринадцять профілів ґрунтових вод, починаючи від верхів'я балки і до нижніх ставків.

Якщо у верхів'ях балки напрям потоку спрямований у бік долини р. Либідь, то в центральній її частині чітко простежується дренаюча роль каскаду ставків, особливо на ділянці ставка № 3.

Рівні ґрунтових вод знаходяться на глибинах 4–15 м, а у пониззі балки на глибинах 2–3 м нижче поверхні землі.

Таким чином, гідрогеологічні умови по території балки такі, що активного підтоплення балки в сучасних умовах не спостерігається.

Отримані результати оцінки стаціонарного режиму фільтрації на досліджуваній території дозволили перейти до моделювання задач неусталеної фільтрації з метою прогнозування процесів підтоплення ґрунтовими водами Совської балки для умов заповнення каскаду ставків до проектних відміток. При розв'язках прогнозних задач були використані моделі фільтрації, описані приведеними вище рівняннями (1)–(6) та їх аналітичні розв'язки (7)–(8) з відповідними граничними умовами.

У зв'язку з тим, що рівні води в ставках передбачається підняти максимум на 3,5 м і вплив підйому рівнів буде в основному розповсюджуватись в бік схилів балки, то замість моделі планової фільтрації були використані рівняння профільної фільтрації і моделювались профільні задачі на прогнозний період 2,5 і 10 років.

Всього було розв'язано 13 профільних нестаціонарних задач по побудованих геологічно-гідрогеологічних профілях. За початкове положення рівнів ґрунтових вод приймалися дані про розподіл ґрунтових вод в стаціонарному режимі.

Для підвищення обґрунтованості та достовірності отриманих результатів моделювались варіанти задач для найнесприятливіших умов зміни техногенного навантаження на ґрунтовий потік в межах балки, а саме: величина інфільтраційного живлення задавалась як різниця між величиною атмосферних опадів та випаровуванням у припущенні того, що весь інфільтраційний потік поступає на поверхню ґрунтових вод без урахування поверхневого стоку і на контурах ставків задавались граничні умови миттєвого підйому рівнів в них, хоча цей процес в природних умовах відбувається досить повільно.

В результаті інтерпретації та аналізу даних моделювання були побудовані карти-схеми перерозподілу рівнів ґрунтових вод по території балки відповідно на прогностичний період 2,5 і 10 років.

Як і передбачалося, заповнення ставків призведе до підйому рівнів ґрунтових вод по території усієї балки. Якщо у верхів'ї балки її початку до дамби ставка № 3 рівні в цілому піднімуться уздовж схилів на 1—1,5 м, то в зонах впливу ставків №№ 3,4 і 5 рівні піднімуться до 3—5,0 м. Максимальні значення рівнів будуть становити 153—153,5 м, а мінімальні — 123,0 м у пониззі балки. При цьому основний потік буде направлений в сторону ставків.

Основними факторами формування режиму ґрунтових вод на прогностичний період є підпір рівнів води в ставках та інфільтраційне живлення горизонту. Оцінка впливу кожного з цих факторів дозволяє більш ефективно підійти до вибору необхідних заходів щодо запобігання передбаченого прогнозом підтоплення частки Совської балки. Для цього був розв'язаний комплекс задач по виділенім профілям без урахування інфільтраційного живлення, тобто, моделювався процес підйому рівнів ґрунтових вод, обумовлений лише підпором води в ставках.

Інтерпретація даних моделювання показала, що у верхів'ї балки підйом рівнів майже повністю обумовлений підпором води від ставка № 3 (96%), а на відстанях 60—85 м від центру балки зростає вплив інфільтраційного живлення (24—28%).

В цілому, по всій території балки в її верхів'ї та пониззі основним фактором підйому рівнів ґрунтових вод буде підпор води в ставках, а в середині балки вплив інфільтраційного живлення буде становити 35—40% залежно від відстані до урізу ставків в межах самої балки.

Аналіз природних умов території балки та виконані прогностичні розрахунки дозволили зробити висновки щодо поліпшення гідро-екологічної ситуації в її межах.

В цілому, значного підтоплення ґрунтовими водами не передбачається за виключенням окремих ділянок у пониззі балки, для яких пропонується організація перехоплюючого горизонтального дренажу.

Крім організації дренажу необхідно створити задовільні умови для перехоплення поверхневого стоку, так як гідрологічні умови свідчать про те, що однією з причин затоплення балки можуть бути періоди інтенсивного випадання дощових опадів і максимальний поверхневий стік, що буде формуватись у ці періоди часу. Для цього необхідно створити систему поверхневого перехоплення дренажів уздовж усього лівого схилу балки від її верхів'я до ставка № 5.

Обов'язковим має бути комплекс робіт по реконструкції та розчистці існуючої водопропускної і водовідвідної системи по усьому каскаду ставків, планування та підсіпка території у верхів'ї балки на місці ставків №№ 1 і 2, а також уздовж траси повеневого колектора та теплотраси.

Для контролю та управління режимом ґрунтових вод в умовах реконструкції доцільно, на наш погляд, організувати мережу спостережних свердловин, яка повністю відсутня. При цьому, кількість свердловин з кожного боку ставків повинна бути не менше 3-х, що дозволить організувати планомірний контроль за підйомом ґрунтових вод в межах балки, визначати і уточнювати зміни величин техногенного живлення ґрунтових вод, оцінювати динаміку ґрунтового потоку та приймати відповідні рішення і заходи щодо підтримання необхідного гідро екологічного становища в її межах із врахуванням перспектив благоустрою та створення зон відпочинку.

Загалом слід сказати, що підтоплення земель і забудованих територій в Україні посилюється, особливо в умовах великих міст та промислових об'єктів. З цієї точки зору Київ відноситься до міст, де техногенні процеси та навантаження на ґрунтові води особливо інтенсивні. По території міста існує значна кількість ділянок, подібних до Совської балки з точки зору геолого-геоморфологічних та гідрографічних умов, де передбачається чи буде

передбачатись їх благоустрій. Тому методика створення і реалізації гідро геодинамічних моделей подібних об'єктів повинна вдосконалюватись і розроблятись на основі більш поглибленого вивчення та дослідження конкретних територій.

На наш погляд, у подальших дослідженнях необхідно створити регіональну гідрогеодинамічну модель потоку ґрунтових вод в межах м. Києва з визначеними природними граничними умовами (р. Дніпро, водороздільні плато і т. ін.) і на її основі вдосконалювати створену дану модель, як модель-врізку в регіональній моделі. Такий підхід дозволить уточнити, в першу чергу, граничні умови потоку в плані, та диференціювати більш достовірно складові інфільтраційного та техногенного живлення ґрунтових вод, що, зокрема, підвищить якість прогнозних розрахунків і надасть можливість більш цілеспрямовано проводити відповідні заходи по благоустрою даної території.

* * *

1. Анпилов В. Е. Формирование и прогнозный режим ґрунтовых вод на застроенных территориях / В. Е. Анпилов. — Москва: Недра, 1984. — 159 с.

2. Болгов М. В. Статистический анализ подтопления застраиваемых территорий / М. В. Болгов, Е. С. Дзекцер, В. Ф. Писаренко // Водные ресурсы. — 1998. — № 5(25). — С. 534—540.

3. Процессы подтопления застроенных территорий ґрунтовыми водами (прогноз и защита). Тезисы докладов, часть 1. — Новосибирск: ИГД АН СССР. — 1984. — 201 с.

4. Гавшина З. П. Условия подтопления ґрунтовыми водами застраиваемых территорий / З. П. Гавшина, Е. С. Дзекцер. — М.: Стройиздат. — 1982. — 115 с.

5. Гидродинамическое обоснование прогноза подтопления городских территорий. — М.: Недра. — 1985. — 94 с.

6. Дегтярев Б. М. Дренаж в промышленном и городском строительстве / Б. М. Дегтярев. — М.: Стройиздат. — 1990. — 237 с.

7. Дезірон О. В. Водовикористання в Україні; сучасний стан та перспективи розвитку / О. В. Дезірон // Екологія і ресурси. — 2002. — № 4. — С. 126—133.

8. Інженерний захист та освоєння територій. — К.: Основа, 2000. — 344 с.

9. Ломакин Е. А. Имитационное моделирование в геофильтрационных исследованиях / Е. А. Ломакин, В. А. Мироненко, А. В. Поспелов // Водные ресурсы. — 1985. — № 4. — С. 60—75.

10. Олейник А. Я. Численно-аналитические решения задач фильтрации и влагопереноса в зоне аэрации при исследовании процессов подтопления и идентификации гидрогеологических параметров / А. Я. Олейник, В.С. Коемез, С.В. Тельма // Математическое моделирование гидрогеологических процессов. — 1984. — С. 112—119.

11. Паламарчук М.М. Проблема безпеки водних ресурсів та питного водопостачання населення / М. М. Паламарчук, Н. Б. Загорчевна // Екологія і ресурси. — 2002. — № 4. — С. 34—43.

12. Постанова Верховної Ради України від 6.03.2003 р. № 609-ІУ. «Підтоплення земель в Україні: проблеми та шляхи подолання». // Голос України. — 21.03.2003. — № 55. — С. 5.

13. Телима С. В. Про стан проблеми підтоплення території України / С. В. Телима // Містобудування та територіальне планування — 2004. — Вип. 12. — С. 326—332.

14. Тельма С. В. Гидрогеологические условия и оценка эксплуатационных запасов подземных вод района г. Киева / С. В. Тельма и др. — К., 1972. — Т. 1. — 730 с.

15. Телима С. В. Прогнозування процесів підтоплення міських територій та промислово-міських агломерацій в сучасних умовах / С. В. Телима // Містобудування та територіальне планування. — 2005. — Вип. 12. — С. 367—378.

16. Телима С. В. Прогноз підтоплення забудованих територій в зонах впливу водосховищ / С. В. Телима // Науковий вісник ХДТУБА. — 2003. — № 21. — С. 121—126.

17. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления / П. Эйкхофф. — М.: Мир, 1975. — 683 с.

18. Благоустрій та реконструкція каскаду Совських ставків в Залізничному районі м. Києва. Робочий проект. Коригування. — К.: ВАТ «Укрводпроект», 1999. — 175 с.

Отримано: 2.04.2011 р.