

## **ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО ПІДХОДУ ПРИ ВИВЧЕННІ ДИНАМІКИ ҐРУНТОВИХ ВОД НА ТЕРИТОРІЯХ МІСТ**

**Постановка проблеми.** Внаслідок інтенсивного техногенного впливу на територіях міст відбуваються значні зміни динаміки потоків ґрунтових вод, через що суттєво погіршуються умови будівництва і експлуатації інженерних споруд, активізується процес підтоплення території, реальною стає загроза погіршення якості питних підземних вод. Тому на сьогодні проблема кількісного прогнозування змін гідродинамічних умов потоків ґрунтових вод є дуже актуальною з точки зору екологічної безпеки. Проте традиційні методики гідрогеологічних досліджень і розрахунків не забезпечують достатньої точності прогнозування. Успішне вирішення зазначеної проблеми неможливе без системного застосування сучасних технологій і підходів.

**Аналіз проблеми та її невирішені аспекти.** Сьогодні у проблемі дослідження ґрунтових вод на територіях міст склалася парадоксальна ситуація. Нагальним є вивчення, оцінка та прогнозування змін гідрогеологічних умов територій міст з метою їх подальшого господарського освоєння із дотриманням вимог екологічної безпеки. Методики такого вивчення, оцінки та прогнозування, що базуються на концепції створення гідрогеологічних моделей постійної дії існують [1, 2]. Проте практична реалізація такої концепції є майже неможливою. Необхідні для цього детальні польові крупномасштабні гідрогеологічні дослідження є досить проблематичними з точки зору екологічної безпеки території, що вивчається. Крім того, їх проведення потребує значних коштів. Водночас урбанізовані території характеризуються наявністю величезного обсягу геологічної інформації, яка була отримана й отримується під час різнопланових досліджень, загальна тривалість яких складає не один десяток років. Така інформація має певну специфіку. По-перше, вона отримується зазвичай у результаті вузькоспеціалізованих досліджень, наприклад, інженерно-геологічних для будівництва окремих споруд. Тому власне гідрогеологічна складова інформації в такому випадку має підпорядкований, другорядний або непрямий характер. По-друге, інформація є різномасштабною, невпорядкованою в просторі й часі, має різну ступінь детальності й точності. По-третє, належить різним відомствам.

На думку автора, використання цієї інформації може дозволити вирішити проблему безперервності схематизації та адаптації гідрогеологічної моделі потоку ґрунтових вод в умовах урбанізованих територій. Виходячи з характеру інформації (різномасштабність, різна ступінь детальності й точності, неупорядкованість в просторі й часі), її ефективне використання можливе лише за умови застосування геоінформаційного підходу.

**Цілі статті.** Проаналізований стан проблеми вивчення динаміки ґрунтових вод з метою обґрунтування перспективності застосування геоінформаційного підходу для кількісного прогнозування змін гідродинамічних умов потоків ґрунтових вод на територіях міських агломерацій.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Основою вивчення динаміки ґрунтових вод зазвичай слугує теорія геофільтрації, що базується на рівняннях математичної фізики еліптичного та параболічного типів. Теорія ця виникла приблизно в середині ХІХ ст. [3], а завершеного вигляду набула в середині ХХ ст.

З 1920-х рр. на базі теорії геофільтрації розпочався розвиток математичного гідрогеологічного моделювання як найбільш перспективного методу досліджень і кількісного прогнозування гідрогеологічних процесів за допомогою аналогової, а з часом – цифрової обчислювальної техніки [4]. Математичне моделювання в гідрогеології як метод розрахунків бере початок з розробки М.М. Павловським теорії електрогідродинамічних аналогій (ЕГДА). У 1918–1922 рр. М.М. Павловський створив пристрій для реалізації методу ЕГДА для умов суцільного електричного середовища. Подальший розвиток цей метод отримав у роботах В.М. Шестакова, П.Ф. Фільчакова, В.І. Панчишина, А.Г. Тарапона та ін. Загальна теорія так званого методу сіток, яка базується на представленні диференціальних рівнянь (у тому числі рівнянь геофільтрації) у скінченних різницях, була розроблена С.А. Гершгоріним у 1929 р. Конструктивне рішення метод сіток отримав 1934 р. в роботах В.С. Лук'янова як метод гідравлічних аналогій (ГА), а 1936 р. – в роботах Л.І. Гутенмахера та ін. як метод електрогідродинамічних аналогій (ЕГДА). Застосування гідравлічного інтегратора В.С. Лук'янова (ІГЛ) відбулося у 1936 р. ІГЛ досить широко використовувався для гідрогеологічного моделювання протягом 1950-60-х рр. Електричні сітки почали використовувати в гідрогеології з початку 1960-х рр. Теорію і методику такого моделювання розробляли В.М. Шестаков, І.Е. Жернов, І.К. Гавич, А.Б. Ситніков, І.М. Павловець, М.С. Огняник та ін. З середини 1970-х рр. для гідрогеологічного математичного моделювання почали використовувати цифрову обчислювальну техніку. Зараз для моделювання головним чином застосовують числові методи розв'язання крайових задач фільтрації і міграції підземних вод за допомогою персональних комп'ютерів.

На думку П.К. Коносавського і К.А. Соловейчика [2], провідна роль моделювання в гідрогеології обумовлена наступними причинами.

1. Природні об'єкти відрізняються великими розмірами, і це часто утруднює їх вивчення. Моделювання дозволяє “спостерігати” за їх зменшеними копіями.
2. Більшість природних процесів протікають дуже повільно. Моделювання дає можливість у “стислі” терміни вирішувати завдання палеорекоконструкцій природних об'єктів і є практично єдиним методом вирішення прогностичних задач.
3. Природні і природно-техногенні об'єкти є надзвичайно складними системами. Єдиним методом, який дозволяє врахувати всі дійсно важливі риси такого об'єкта в межах єдиного підходу, є математичне моделювання.
4. У гідрогеологічних дослідженнях лабораторне відтворення процесів звичайно неможливе, спеціаліст вимушений робити висновки за досить неповними результатами. У цьому випадку моделювання стає важливим інструментом пізнання.

У розвитку гідрогеологічного моделювання І.К. Гавич станом на 1980 р. було виділено п'ять етапів [4]. П'ятий етап (від середини 1970-х рр.) характеризувався масовим переходом у гідрогеологічному моделюванні від застосування аналогової до цифрової обчислювальної техніки, головним чином персональних комп'ютерів. Крім того, в цей період виникає дуже плідна концепція гідрогеологічних математичних моделей постійної дії. Хоча ідеї створення таких моделей у СРСР належать до 1970-х рр., тоді спроби їх практичної реалізації не мали значного успіху. Причина цього полягала у використанні для створення моделі аналогових обчислювальних машин (АОМ). З 1980-х рр. у гідрогеологічному моделюванні розпочався перехід до масового використання цифрової обчислювальної техніки і можливість масової ефективною практичної реалізації ідеї математичної моделі постійної дії стала реальною. На початку 1990-х рр. теорія створення і практичний досвід застосування гідрогеологічних математичних моделей були узагальнені М.С. Огняником та ін. [1]. М.С. Огняником у 1983 р. обґрунтовані необхідність і доцільність створення автоматизованої системи контролю й управління гідрогеологічними процесами, сформульовані вимоги до неї. Функції такої системи: збір, збереження і первинна обробка вихідної інформації; планування і проведення польових гідрогеологічних експериментів для отримання даних про об'єкт; вивчення гідрогеологічних процесів на моделі в природних і порушених різними техногенними факторами умовах. Пізніше були сформульовані критерії віднесення гідрогеологічних моделей до моделей постійної дії [1].

На сьогодні можна стверджувати, що гідрогеологічне математичне моделювання на основі моделей постійної дії є найбільш ефективним методом вивчення динаміки ґрунтових вод. Проте з початку 1990-х рр. практичне створення нових або подальша адаптація таких моделей на базі наявних методологічних підходів стало проблематичним або зовсім неможливим. Це пояснюється двома причинами.

По-перше, перехід до нових умов господарювання призвів до суттєвого скорочення фінансування та збільшення вартості польових досліджень. Внаслідок цього значною мірою скоротились обсяги надходження нової гідрогеологічної інформації, отже створення й адаптація моделі уповільнились і втратили ефективність.

По-друге, з позицій екологічної безпеки постала проблема детального вивчення гідрогеологічних умов територій з інтенсивним техногенним впливом, зокрема, територій міських агломерацій. Специфіка вивчення таких територій має дві головні особливості: вивчення повинно здійснюватись на крупномасштабній основі (масштаб щонайменше 1 : 10 000); за умов щільної забудови території та техногенного впливу власне виконання традиційного об'єму польових досліджень (буріння, відкачування, тощо) може мати негативні екологічні наслідки.

Тому на сьогодні виникли суттєві проблеми із подальшим ефективним традиційним застосуванням гідрогеологічного моделювання на основі створення математичних моделей постійної дії з метою вивчення динаміки ґрунтових вод на територіях міст.

Виходом із такого становища може бути застосування сучасного геоінформаційного підходу. У зв'язку з чим нагальною є конкретизація понятійної бази сучасної геоінформатики стосовно гідрогеології, зокрема гідрогеологічного математичного моделювання, зі збереженням накопиченого досвіду і перевірених практикою традиційних підходів. Нижче викладені узагальнення, отримані автором на підставі власного досвіду використання математичного гідрогеологічного моделювання та геоінформаційних систем для вивчення динаміки ґрунтових вод на окремих ділянках території м. Києва [5–10] і аналізу наявних публікацій.

**Наукові результати.** На підставі загальних базових визначень А.Є. Кулінковича, М.А. Якимчука [11] та В.С. Тікунова [12], можна запропонувати наступні визначення понять геоінформатики, географічної інформаційної системи, геоінформаційного аналізу та геоінформаційного підходу в гідрогеології.

Геоінформатика в гідрогеології являє собою використання математичного апарату, програмного забезпечення і обчислювальної техніки для збору, обробки і збереження гідрогеологічної інформації, побудови гідрогео-

логічних моделей (переважно гідрогеологічних математичних моделей постійної дії) і відтворення за їх допомогою гідрогеологічних процесів із застосуванням географічних інформаційних систем (ГІС) та геоінформаційного аналізу.

ГІС у гідрогеології визначається як інформаційна система, що забезпечує збір, зберігання, обробку, доступ, відображення і поширення просторово-координованих гідрогеологічних даних.

Геоінформаційний аналіз (геоаналіз, просторовий аналіз) у гідрогеології – група функцій, які забезпечують аналіз розміщення, зв'язків та інших просторових відношень гідрогеологічних об'єктів, створення і обробку цифрових моделей геологічних і фізичних полів, просторове моделювання в ГІС.

Геоінформаційний підхід до вирішення гідрогеологічних задач означає системне використання гідрогеологічного моделювання в поєднанні з геоінформаційним аналізом для збору, обробки та збереження інформації, що має на меті створення гідрогеологічних математичних моделей постійної дії на ГІС-основі.

Головний принцип, який дозволяє на сучасному рівні вважати модель такою, що діє постійно, з позиції геоінформаційного підходу формулюється так: забезпечення безперервності схематизації та адаптації гідрогеологічної моделі не лише за рахунок етапності та додатковості польових досліджень, а також за рахунок використання різномірної та заздалегідь невпорядкованої гідрогеологічної інформації різного ступеня детальності на основі застосування ГІС та геоінформаційного аналізу.

На думку автора, саме геоінформаційний підхід дозволяє на сучасному рівні реалізувати ідею використання математичних моделей постійної дії як інструмента планування режимних спостережень та дослідних робіт для уточнення уявлень про гідрогеологічний об'єкт. Це дає можливість практично здійснити в ході досліджень ефективну поетапну схематизацію та адаптацію моделі, яка направлена на послідовне покращення математичних розрахункових схем об'єкта, що розглядається [1].

### **Висновки.**

1. Геоінформаційний підхід у вивченні динаміки ґрунтових вод на територіях міст означає системне використання гідрогеологічного моделювання в поєднанні з геоінформаційним аналізом для збору, обробки та збереження інформації, що має на меті створення гідрогеологічних математичних моделей постійної дії на ГІС-основі.
2. Головний принцип, який дозволяє на сучасному рівні вважати модель такою, що діє постійно, з позицій геоінформаційного підходу формулюється так: забезпечення безперервності схематизації та адаптації гідрогеологічної моделі не лише за рахунок етапності і додатковості

польових досліджень, а також за рахунок використання різномірної та задалегідь неупорядкованої гідрогеологічної інформації різного ступеня детальності на основі застосування ГІС та геоінформаційного аналізу.

3. Завдяки застосуванню геоінформаційного підходу суттєво розширюються рамки можливого створення й використання гідрогеологічних моделей постійної дії та їхня інформаційна основа, а також зменшуються витрати коштів і часу на створення таких моделей.

1. Постоянно действующие гидрогеологические модели интенсивно осваиваемых территорий Украинской ССР / Огняник Н.С.; отв. ред. Ситников А.Б. – К.: Наук. думка, 1991. – 176 с.
2. Коносавский П.К., Соловейчик К.А. Математическое моделирование геофильтрационных процессов: Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. – 96 с.
3. Жернов И.Е. Динамика подземных вод. – К.: Вища школа, 1982. – 324 с.
4. Гавич И.К. Теория и практика применения моделирования в гидрогеологии. – М.: Недра, 1980. – 358 с.
5. Кошляков О.Є., Мандрик Б.М. Особливості моделювання ґрунтових потоків для територій міських агломерацій (на прикладі району Голосіївської площі в м. Києві) // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2005. – Вип. 34. – С. 53–55.
6. Кошляков О.Є. Методологічні аспекти оцінки екологічної безпеки в зв'язку із змінами рівнів ґрунтових вод // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2005. – Вип. 35. – С. 94–96.
7. Кошляков О.Є., Мокієнко В.І., Кошлякова І.Є., Диняк О.В. Аналіз динаміки рівнів ґрунтових вод Лівобережжя м. Києва із застосуванням геоінформаційних технологій // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2006. – Вип. 39. – С. 63–65.
8. Кошляков О.Є., Диняк О.В. Досвід застосування геоінформаційних технологій для вивчення процесу підтоплення долин малих річок м. Києва // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2007. – № 1 (37). – С. 25–29.
9. Кошляков О.Є., Мокієнко В.І. Оцінка впливу комплексу природних та штучних факторів формування потоку ґрунтових вод лівобережної частини м. Києва // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2007. – Вип. 41. – С. 60–63.
10. Кошляков О.Є., Диняк О.В. Особливості математичного моделювання потоків ґрунтових вод в долинах малих річок м. Києва // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2007. – Вип. 42. – С. 110–112.
11. Кулінкович А.Є., Якимчук М.А. Геоінформатика: історія становлення, предмет, метод, задачі (сучасна точка зору). Стаття 1 // Геоінформатика. – 2002. – № 1. – С. 7–19.
12. Основы геоинформатики: в 2-х кн. / Под ред. В.С. Тикунова. – М.: Изд. центр “Академия”, 2004.