

УДК 528.88:(528.85:004)

О. Азімов, д-р геол. наук

ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У КОНЦЕПЦІЇ СТВОРЕННЯ УЗАГАЛЬНЕНОЇ СХЕМИ ОБРОБКИ/ІНТЕРПРЕТАЦІЇ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-мінералог. наук, проф. В.В. Шевчуком)

У статті охарактеризована розроблена концептуальна узагальнена технологічна модульна схема перетворення, дешифрування і геологічної інтерпретації даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) у комплексі з матеріалами геолого-геофізичних робіт на основі застосування геоінформаційних технологій.

The designed conceptual generic modular flowchart of transformation, decoding and geologic interpretation of remote sensing data in the complex with geological and geophysical data is characterised. The flowchart is based on geoinformation technologies application.

Актуальність і постановка задачі. Класична методика використання даних ДЗЗ під час геологорозвідувальних робіт (ГРР) [2, 4, 5, 9 та ін.] традиційно передбачала таку технологічну послідовність: збір необхідних архівних і замовлених матеріалів аерокосмічних зйомок (МАКЗ); проблемно орієнтований аналіз і обробка МАКЗ, результатом яких є створення дистанційної основи (ДО) тієї чи іншої геологічної карти; тематичне дешифрування ДО; інтерпретація схем дешифрування; складання тематичних карт і схем з легендами або умовними позначеннями; подання й зберігання вказаних карт і схем. При цьому чинник впровадження комп'ютерних технологій обробки/інтерпретації даних мав незначний рівень. В останній час з широким розвитком геоінформатики – науки, технології й виробничої діяльності, що застосовує теорію, методи і засоби накопичення, оброблення і передачі різноманітних даних, інформації та знань про Землю з допомогою електронно-обчислювальних машин, комп'ютерів та інших технічних розробок – при ГРР все ширше використовуються її (геоінформатики) досягнення. Це властиве й аерокосмогеологічним дослідженням (АКГД), результатами яких [1, 8, 12, 13 та ін.] загалом визначено концепцію і розроблено низку технологічних схем перетворення/інтерпретації даних ДЗЗ, здебільшого при реалізації конкретних тематичних розробок, зокрема під час нафтогазопошукових робіт.

Разом з тим, вирішення проблеми впровадження геоінформаційних технологій у практику дистанційних методів вивчення геологічної будови територій висуває ряд як наукових, так і суто технічних завдань. Насамперед, не розроблено загальноприйнятну концепцію і не створено універсальну технологічну схему оброблення, дешифрування і геологічної інтерпретації матеріалів дистанційних зйомок (МДЗ) на підставі застосування комп'ютерних засобів і програм. Дослідження у цій сфері тривають. Таким чином, метою цієї статті є розгляд запропонованої автором концепції створення узагальненої схеми обробки/інтерпретації МАКЗ із залученням геоінформаційних технологій при ГРР, а також основних складових цієї схеми. Новизна розробки полягає саме у тому, що схема порівняно з попередніми аналогами має узагальнювальний характер під час виконання АКГД найрізноманітнішого спрямування, а не суто вузькотематичного.

Викладення основного матеріалу дослідження та отримання наукових результатів. Автор протягом ряду років вивчав диз'юнктивні структури, пов'язані з ними процеси та інші геологічні об'єкти (зокрема поклади вуглеводнів – ВВ, рудні тіла тощо) з дотриманням визнаних теоретико-методологічних засад проведення АКГД, технологічної послідовності використання даних ДЗЗ. Враховуючи й узагальнюючи відомі комп'ютеризовані методи, методичні підходи і прийоми роботи з комплексом МАКЗ і апіорними результатами геолого-

геофізичних робіт, а також основні етапи їх виконання і послідовність відповідних операцій, як наслідок, було розроблено концептуальну узагальнену технологічну модульну схему перетворення, дешифрування і геологічної інтерпретації даних дистанційного знімання на підставі використання геоінформаційних технологій з метою виявлення і визначення характеристик розривних дислокацій земної кори (рис. 1) [10, 11]. Ця схема реалізується у своєрідній геоінформаційній системі, основними складовими якої є база знань (БЗ), база даних (БД) і програмне забезпечення, що призначене для управління БД і тематичною обробкою даних. Подібні підходи також сповідують інші фахівці [1, 8 та ін.]. Загалом схема складається з чотирьох основних етапів: постановки завдання, формування БЗ і БД, оброблення та аналізу даних на основі використання географічної інформаційної системи (ГІС), комплексного аналізу і геологічної інтерпретації інтегрованої в ГІС інформації. Нижче охарактеризуємо їх детальніше.

Постановка завдання. У залежності від етапу і стадії ГРР, при яких використовуються МДЗ, з допомогою розробленої технології можуть вирішуватися завдання різного масштабного рівня: тектонічне районування і районування території щодо перспективності на якісь корисні копалини (інші об'єкти пошуку) з виділенням основних розломів, розривів, ділянок/площ, перспективних на виявлення якихось корисних копалин (об'єктів); виділення розломно-блокових полів, нафтогазо- або рудовмісних локальних структур в їхніх межах, інших об'єктів пошуку або дослідження з визначенням черговості їх подальшого вивчення різними геолого-геофізичними методами і пошуковим бурінням; детальне вивчення перспективних площ (нафтогазо- або рудоперспективних, перспективних на пошуки різноманітних цільових об'єктів) для більш раціонального розміщення розвідувальних свердловин і виділення ділянок, у межах яких можливі ускладнення (зокрема ділянок, пов'язаних з диз'юнктивною тектонікою) при бурінні, інших гірничих роботах.

Формування БЗ. БЗ включає знання спеціалістів-експертів про предмет досліджень, методику використання та оброблення даних ДЗЗ, моделі об'єктів дослідження і причинно-наслідкові зв'язки їх утворення і розвитку, які необхідні для вирішення поставлених завдань. Зокрема, БЗ для цілей розрізнення диз'юнктивних деформацій містить відомості про їхні ранги, генезис, глибини проникнення (затухання), морфокінематичні характеристики, час їх закладення, активізації, ремобілізації, особливості новітньої та сучасної активності, а також про плікативні структури і речовинні комплекси, що пов'язані з ними як просторово, так і за походженням.

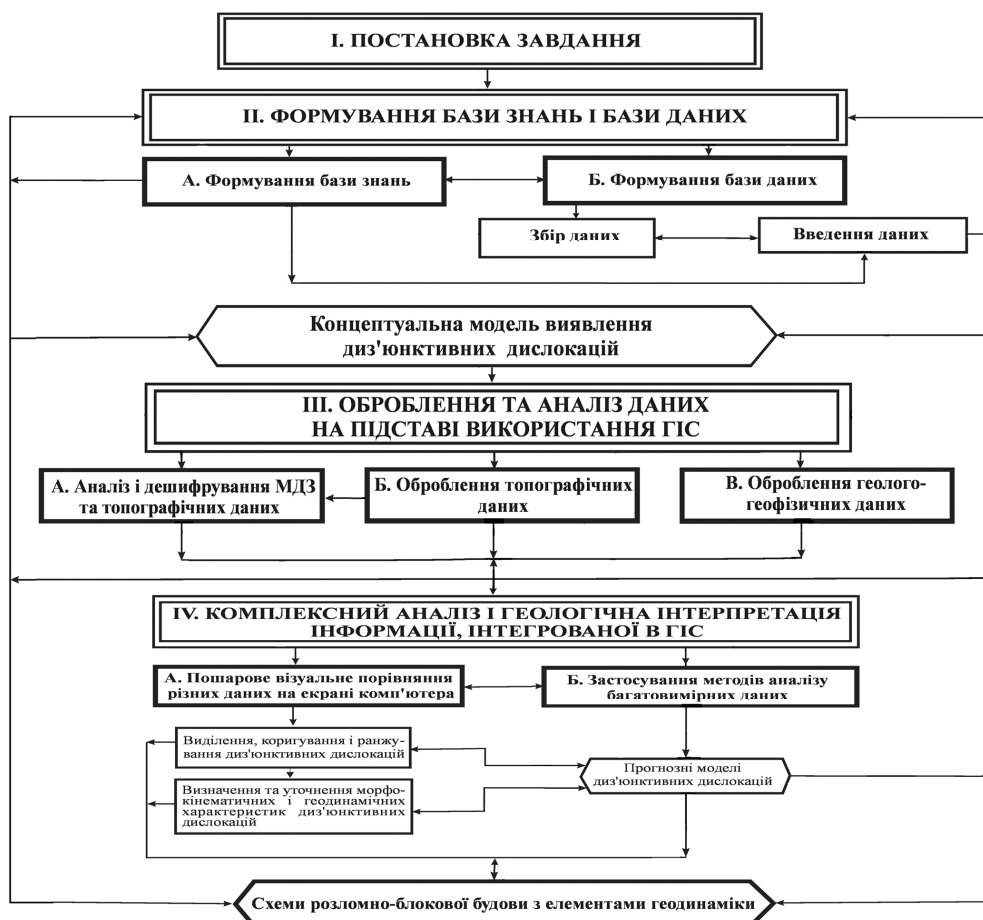


Рис. 1. Концептуальна технологічна модульна схема перетворення, дешифрування і геологічної інтерпретації даних ДЗЗ на підставі використання геоінформаційних технологій з метою виявлення і визначення характеристик диз'юнктивних дислокацій земної кори (спрощений варіант)

БЗ для цілей прогнозу родовищ корисних копалин включає інформацію про загальні закономірності формування речовинно-структурних форм земної кори, що контролюють розподіл цих родовищ, про характер геологічного розрізу (склад, товщини, тріщинуватість гірських порід, їхні флюїдопровідні та інші фізико-хімічні характеристики), про історію тектонічного розвитку, особливо на новітньому етапі. Останнє важливо з огляду на вивчення морфології структур, що вміщують родовища корисних копалин, за МАКЗ, а також їх вираженості як у ландшафті, так і на дистанційних даних.

Необхідне виконання типізації (класифікації) різноманітних об'єктів пошуку (наприклад, розломів, розривних порушень вищого порядку, пасток ВВ, рудовмісних зон тощо) як за геологічними ознаками, так і за ландшафтною (зокрема, геоморфологічною) і дистанційною їхньою вираженістю, ступенем неотектонічної активності. Необхідне також проведення аналізу геоіндикаційних зв'язків рельєфу, компонентів ландшафту загалом, рисунку зображення на МДЗ з одного боку і особливостей геологічної будови з іншого (рис. 1).

Формування БД. БД являє собою сукупність даних, які відображають стан об'єктів досліджень та їх відношень, необхідних для розв'язання поставлених завдань. Вона формується в залежності від змісту завдань прогнозу (пошуку) об'єктів вивчення, а також від ієрархічного рівня цих об'єктів і повинна відповідати БЗ. БД загалом включає аерокосмізмальні, широкий спектр геолого-геофізичних (зокрема геохімічні, гідрогеологічні тощо) і ландшафтних (включаючи геоморфоло-

гічні й т. п.) даних. Головним чином вони представляються у вигляді картографічних матеріалів.

Доцільно складати декілька БД на одну й ту ж територію в різних масштабах. Так для виділення регіонального розломно-блокового каркасу, прогнозування зон нафтогазонакопичення, рудоконтролюючих зон і побудови відповідних схем і карт (зокрема тематичного районування) необхідні БД у масштабах 1:1 000 000 і 1:500 000, для виявлення диз'юнктивів зонального рангу, прогнозування зон розвитку і конкретних локальних нафтогазо- і рудоперспективних структур – у масштабах 1:200 000, 1:100 000 і більших, для детального вивчення площ і родовищ – у масштабах 1:50 000, 1:25 000 і більших.

Аерокосмічні цифрові дані заносяться у БД у растровому форматі, тобто у вигляді матриці значень, що передають інформацію про яскравості або теплові властивості земної/водної поверхні в діапазоні значень від 0 до 255 (байтове вираження). Фотозображення і картографічні матеріали на паперових носіях перетворюються в електронний формат (уводяться в комп'ютер з допомогою сканера). Потім картографічні дані оцифровуються (векторизуються).

Загалом чим більше геолого-геофізичної та ландшафтної інформації міститься у БД (до розумної межі) і чим вище її достовірність, тим кращою зазвичай є якість моделей прогнозних або досліджуваних об'єктів.

Концептуальні моделі об'єктів, що прогнозуються (досліджуються), формуються, виходячи з аналізу БЗ і БД. На їхній основі вибираються методи і методичні прийоми те-

матичного оброблення даних і відповідне програмне забезпечення для його виконання та управління БД.

Обробка та аналіз даних на підставі використання ГІС. Першою стадією аналізу є *візуальне дешифрування* МАКЗ у різних зонах спектра електромагнітних хвиль (ЕМХ), яке проводиться для визначення найінформативніших діапазонів зйомки, побудови схем основних тектонічних елементів і схем геоморфологічного (або ландшафтного загалом) районування території, що вивчається. Ґрунтуючись на візуальному дешифруванні, аналізуються особливості відображення глибинних геологічних структур у рельєфі, інших компонентах ландшафту, а також на даних ДЗЗ, виділяються розривні порушення і розділені ними блоки земної кори з різними ландшафтними характеристиками і різними типами вираженості прогнозних або досліджуваних об'єктів, визначаються методи подальшого цифрового оброблення матеріалів.

Вже на етапі створення БЗ і БД та візуального аналізу даних починається *виділення геоіндикаторів* об'єктів пошуку (прогнозу): диз'юнктивні дислокації, тектонічні блоки з різним ступенем нафтогазо- або рудоносності, локальні структури, перспективні на пошуки корисних копалин, окремі розриви тощо. Виділення індикаційних ознак здебільшого виконується візуально, іноді (при належних ландшафтно-геологічних умовах) і в автоматичному режимі як за вихідними дистанційними зображеннями, так і за знімками, що оброблені за спеціальними методиками, які дозволяють підсилити вираженість того або іншого геоіндикатора.

Важливою стадією оброблення багатозональних (гіперспектральних) МДЗ є аналіз відповідних знімків, який включає метод кольорових композицій, арифметичні операції з різними каналами зображень. Перший з них – *метод кольорових композицій* – ґрунтується на синтезі у псевдокольорах просторово сумішених зображень, що отримані в окремих вузьких діапазонах електромагнітного спектра та які передають яскравісні параметри природних об'єктів у цих зонах.

Методи, що використовують арифметичні операції, стосовно даних ДЗЗ у різних зонах спектра ЕМХ уможливають, як і метод кольорових композицій, виділення тонких відмінностей у відображенні різноманітних природних утворень на результативних зображеннях, отриманих на основі зображень у цих зонах спектра.

Відомо, що рельєф земної поверхні є одним з найвагоміших геоіндикаторів глибинної структури територій. Зазвичай абсолютні відмітки рельєфу, а також геологічні (включаючи геохімічні, гідрогеологічні, інші) та геофізичні дані представляються на картах у формі ізоліній. З метою інтеграції в комплексне цифрове оброблення даних їх необхідно мати (або потрібно перетворити) у формат матриці значень. Причому це представлення (трансформування) повинно бути з кроком, який дорівнює розміру пікселя цифрового дистанційного знімка. Тобто необхідно отримати *цифрову модель рельєфу* денної поверхні, структурних горизонтів земної кори, цифрові моделі геофізичних, геохімічних полів тощо.

Однією із стадій обробки результатів дешифрування МАКЗ є *лінеаментний аналіз*. Він належить до найефективніших методів вивчення внутрішньої будови територій. Основне його завдання – визначення зон розломів і розривів, поділених ними блоків земної кори, що характеризуються різною просторовою організацією поля лінеаментів.

Комплексний аналіз і геологічна інтерпретація інтегрованої в ГІС інформації. Для встановлення зв'язків між моделями, що отримані на етапі оброблення даних, і глибинними геологічними структурами, а

також з метою визначення найінформативніших геоіндикаторів для формування прогнозних або досліджуваних моделей виконується комплексний аналіз інформації. Він поділяється на два підетапи. На першому підетапі на основі концептуальної моделі аналізуються окремі ознаки: вихідні МДЗ, результати їх обробки, схеми геоіндикаторів та їхні характеристики. На другому аналізуються окремі схеми і моделі, що побудовані за декількома ознаками.

Комплексний аналіз інформації реалізується різними способами (рис. 1): візуальним пошаровим зіставленням різних даних на екрані комп'ютера; методами аналізу багатовимірних даних. Перший з них – *візуальне пошарове зіставлення даних на екрані комп'ютера* – є найшвидшим і найпростішим способом комплексного аналізу. Він може виконуватися за допомогою будь-якої векторної ГІС. Послідовне накладання векторних шарів дозволяє виявити найзагальніші закономірності розміщення розломно-блокових полів, родовищ і проявів корисних копалин, простежити вираженість прогнозних (досліджуваних) об'єктів у всіх шарах, що аналізуються. Виділені нові характеристики об'єктів, які відрізняються від концептуальних або такі, що уточнюють їх, включаються у БД і БЗ.

Методи аналізу багатовимірних даних (класифікація, головних компонент, кореляційний, регресійний, факторний аналіз тощо [1, 3, 6–8 та ін.]) застосовуються з метою оцінки структури і взаємозалежності даних, що використовуються, їхньої ролі у відображенні різноманітних геологічних об'єктів, а також з метою встановлення ознак для побудови моделей прогнозу або тих, що досліджуються.

Висновки з дослідження та перспективи подальших розвідок у цьому напрямі. Отже, концептуальна технологічна схема має модульний характер. Так, у залежності від рівня завдань дослідження пошукових об'єктів (глобальний, регіональний, зональний або локальний), їх складності та повноти, а також від обсягу наявних дистанційних і геолого-геофізичних матеріалів можуть застосовуватися окремі її модулі (складові).

Охарактеризована технологічна схема розроблена, дослідно-методично апробована і практично реалізована при дослідженні характеристик розривних порушень земної кори в умовах різної ландшафтно-геологічної будови України у рамках вирішення низки наукових і прикладних завдань надрокористування і геоєкології. У подальшому є сенс цілеспрямовано модифікувати її для розв'язання актуальних проблем пошукової геології, зокрема виділення потенційних нафтогазових пасток, різноманітних рудних тіл, оцінки їх продуктивності тощо.

1. Аэрокосмические методы геологических исследований / Под ред. А.В. Перцова. – СПб., 2000.
2. Готынян В.С., Кострюков М.И., Лаврус В.П. и др. Временные методические рекомендации по аэрокосмогеологическим исследованиям и использование их при нефтегазопоскоковых работах. – М., 1987.
3. Можаяев Б.Н., Афанасьев Н.Ф., Астахов В.И. и др. Геоиндикационное моделирование (с использованием материалов аэро- и космических съемок). – Л., 1984.
4. Николаенко Б.А., Быстревская С.С., Воловик В.Т. и др. Карта линейных и кольцевых структур Украинской ССР (по материалам космических съемок). М-б 1:1 000 000. – Киев, 1989.
5. Николаенко Б.А., Веремьев П.С., Кубышкина Л.К. и др. Временные методические рекомендации по применению материалов космической съемки при геологическом изучении платформенной части УССР. – Киев, 1983.
6. Бусыгин Б.С., Никулин С.Л., Бойко В.А. ГИС-технология поисков золота в Западном Узбекистане // Геоинформатика. – 2006. – № 1. – С. 44–49.
7. Дячук В.В., Лизанець А.В., Бабаев В.В. та ін. Системний підхід до вивчення нафтогазових територій дистанційними методами на прикладі ДК "Укргазвидобування" // Геоинформатика. – 2002. – № 1. – С. 70–76.
8. Смирнова И.О., Русанова А.А. ГИС-технология обработки и интерпретации материалов дистанционного зондирования для изучения тектонических критериев размещения месторождений углеводородов // Отечественная геология. – 1999. – № 6. – С. 32–40.
9. Чебаненко И.И., Готынян В.С., Жилковский Н.И. и др. Глубинные

разломы и методика аэрокосмогеологических исследований при нефтегазопроисловых работах в Днепровско-Припятском авлакогене: Препр. / АН УССР. Ин-т геол. наук; 88-31 / . – К., 1988. – 55 с. 10. Азімов О.Т. Геоінформатика у проблемі створення технологічної схеми обробки/інтерпретації даних аерокосмічних зйомок при вирішенні геологічних завдань // Мат. IX Міжнар. наук. конф. "Моніторинг геологічних процесів" (м. Київ, 14-17 жовт. 2009 р.). – К., 2009. 11. Азімов О.Т. Дослідження диз'юнктивних дислокацій земної кори аерокосмічними методами (на прикладі регіонів України): Дис. ... д-ра геол. наук: 04.00.01 "Загальна та регіональна геологія" / ІГН НАН України. – № ДР 0509U000102. – К.,

2008. 12. Веклич Ю.М., Целік В.В., Янцевич О.О. Розробка та вдосконалення методики геокартування та складання цифрових геологічних карт, включаючи їх дистанційну основу: Звіт про НДР 604 (закл.) / УкрД-ГРІ. – № ДР У-03-135/40. – К., 2005. – Кн. 1. Текст. 13. Мичак А.Г., Філіпович В.Є., Тарангул Д.О. та ін. Розробка методичних рекомендацій з аерокосмогеологічних досліджень та використання їх результатів при геологорозвідувальних роботах. Звіт про НДР / ЦАКДЗ ІГН НАН України. – № ДР 0105U000753. – К., 2005.

Надійшла до редколегії 20.11.09

УДК 556.3:004.94

О. Кошляков, канд. геол.-мінералог. наук,
О. Диняк, канд. геол. наук, І. Кошлякова, пров. інж.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИХІДНИМИ ДАНИМИ МАТЕМАТИЧНИХ ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ПОТОКІВ ҐРУНТОВИХ ВОД НА УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-мінералог. наук, проф. М.М. Коржневим)

Наведено можливість і доцільність застосування геоінформаційних систем на стадії геофільтраційної схематизації при математичному моделюванні рівнів ґрунтових вод. Продемонстровано можливість відтворення полів геофільтраційних параметрів в умовах недостатнього забезпечення вихідними даними при вивченні динаміки рівнів ґрунтових вод на на урбанізованих територіях.

The possibility and effectiveness of geographical information systems applied for geofiltrative schematization in mathematical modeling of waterlevel is considered. The construction of geofiltrative parameters grids is demonstrated in conditions of lack of input data in studying of waterlevel dynamics at urban territories.

Вступ. В умовах сучасного міста підвищене антропогенне навантаження випробовують усі компоненти природного середовища. У зв'язку з інтенсивною господарською діяльністю різко змінюються гідрогеологічні умови, що спричиняє розвиток небезпечних природно-техногенні процесів (підтоплення, зсуви, суфозія, карст тощо), погіршення екологічної обстановки, та обумовлює виникнення надзвичайних ситуацій. Оцінка таких змін є принципово важливою, оскільки економічний збиток від небезпечних процесів величезний.

Найбільш точні оцінки стану підземних водних ресурсів можуть бути виконані на основі числових постійно діючих геофільтраційних моделей. Метод математичного моделювання геофільтрації є основним методом при обґрунтуванні будівництва об'єктів, які тим чи іншим чином пов'язані з підземними водами. Створення математичної моделі об'єкту та прилягаючої території дозволяє, з одного боку, враховувати наявні природно-техногенні фактори, що впливають на об'єкт, а з іншого боку оцінити вплив будівництва на прилягаючу територію.

Розрізняють чотири послідовних стадії такого моделювання [1]:

- стадія схематизації умов геофільтрації;
- стадія епігнозного моделювання;
- прогнозне моделювання;
- обробка та оформлення результатів моделювання.

Ці стадії взаємопов'язані, і до того ж існує не лише прямий зв'язок, а й обернений.

Перша стадія схематизації умов геофільтрації, визначення розрахункових параметрів та характеристик є обов'язковою вихідною позицією при розв'язанні геофільтраційних задач. На цій стадії проводиться гідрогеологічне розчленування розрізу області потоку на зону аерації, водоносні горизонти і комплекси, а також районування території по площі. В якості елемента гідрогеологічного розрізу виступає водоносний пласт, який складений одним або декількома літологічно-однорідними шарами, які до того ж характеризуються тисним гідралічним зв'язком. Стадія закінчується точним математичним формулюванням задачі і побудовою вихідної гідродинамічної схеми.

Постановка проблеми. Для побудови коректної математичної детермінованої моделі геофільтрації необхідно досить точно виконати схематизацію території з урахуванням геологічної будови, геофільтраційних параметрів, даних метеорологічної обстановки, а також кількісних даних про техногенне навантаження. Детерміновані моделі для свого коректного використання вимагають досить високої забезпеченості вихідною інформацією, зокрема даними про фільтраційні та ємнісні властивості гірських порід (коефіцієнти фільтрації та гравітаційної водовіддачі), інтенсивність інфільтраційного живлення, крайові умови потоку підземних вод.

Отже, прогноз змін гідрогеологічних умов практично неможливий без детальної гідрогеологічної вивченості територій. Проте, для міських територій часто відсутні дані про фільтраційні характеристики гірських порід по площі та за глибиною, майже відсутні або досить схематично визначенні фільтраційні властивості порід в межах зони аерації. Складно також визначити і відповідно використати в розрахункових залежностях прогнозу величину інфільтраційного живлення ґрунтових вод та визначити (відкорегувати) вихідні параметри за допомогою розв'язання обернених задач, в зв'язку з відсутністю режимної мережі [2].

Аналіз існуючих систем спостережень на об'єктовому та місцевому рівнях показує, що вони здебільшого не відповідають вимогам моніторингу стану підземної гідросфери як за комплексністю, так і за технічним забезпеченням. Наприклад, державна режимна мережа у м. Києві закладалася більше 50 років тому і створювалася для контролю рівня ґрунтових вод на території міста в колишніх його межах. З часом спостережні свердловини поступово виходили з ладу, деякі ділянки їх розташування перейшли під забудову. На жаль, сьогодні багато свердловин режимної мережі не відповідають сучасним задачам по своїй конструкції або непридатні для спостережень унаслідок їх засмічення, засипки. Деякі свердловини в даний час відновлювати економічно недоцільно. До цього необхідно додати, що інформації, отриманої від існуючих стаціонарних пунктів моніторингу, не завжди достатньо для достовірного аналізу конкретних ситуацій.