

## КОМПЛЕКСУВАННЯ ГЕОФІЗИЧНОЇ ТА ГІДРОГЕОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ КРУПНОМАСШТАБНОГО ГЕОЕКОЛОГІЧНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ

Представлені особливості комплексування геофізичної та гідрогеологічної інформації при обробці карт та переході від дрібного до крупного масштабу для прогнозування впливу великих техногенних об'єктів на довкілля. На прикладі території середнього Придніпров'я апробовано алгоритм для прогнозування геоекологічного впливу сховища відходів на водоносні горизонти у верхній частині розрізу.

Представлены особенности комплексирования геофизической и гидрогеологической информации при обработке карт и переходе от мелкого к крупному масштабу для прогнозирования влияния больших техногенных объектов на окружающую среду. На примере территории среднего Приднепровья опробован алгоритм для прогнозирования геоэкологического влияния хранилища отходов на водоносные горизонты в верхней части разреза.

The integration features of geophysical and hydrogeological data in the processing of maps and the transition from shallow to large scale to predict the impact of large man-made objects on the environment are presented. The algorithm for predicting the geoecological impact of waste storage on aquifers in the upper part of the section on the example of the Middle Dnieper is approved.

**Вступ.** У ХХ столітті спостерігався швидкий розвиток промисловості на території середнього Придніпров'я, що обумовлено розташуванням багатьох родовищ корисних копалин у межах Українського щита. Поряд з великими населеними пунктами були побудовані підприємства видобутку, переробки руди, її збагачення та накопичення відходів. Ці об'єкти протягом багатьох років впливають на геоекологічний стан навколишньої території, змінюючи хімічний склад порід верхньої частини розрізу (ВЧР), водоносних горизонтів, поверхневих водотоків, повітря. Найбільш небезпечними об'єктами є сховища відходів, які будувалися без урахування норм довготривалої безпеки. Це призводить до поступового розповсюдження забруднення через водоносні горизонти у ВЧР.

Прогнозування та зниження геоекологічного впливу сховищ на водоносні горизонти у ВЧР є важливим питанням в сучасному розвитку країни. Для цього застосовують геофізичні методи (головним чином модифікації електророзвідки), що фіксують напрямки розповсюдження забруднення, проводять хімічні аналізи зразків води та інші дослідження у свердловинах. Вартість цих робіт не дає можливості проводити детальні дослідження на великих площах. Найчастіше такий процес не є прогнозуванням, а є лише констатацією результату. Для попередження процесу забруднення доцільно використовувати геолого-геофізичну та гідродинамічну інформацію, а саме карти геофізичних полів, відомості щодо тектонічної будови регіону та напрями й швидкість руху підземних вод. Таке прогнозування неможливо проводити у одному масштабі, при переході з одного масштабу на більший масштаб з'являється уточнююча інформація (особливо щодо тектонічної будови), тому лише комплексний аналіз карт у декількох масштабах дозволить встановити закономірності переходу і визначити потенційні напрямки геоекологічного впливу сховищ відходів на ВЧР. Ра-

зом з гідрогеологічними даними це дозволить створити прогнозу карту геоекологічного впливу та отримати інформацію щодо подальшого проведення запобіжних заходів.

**Мета:** проаналізувати особливості комплексування інформації для поамштаного прогнозування геоекологічного впливу сховища відходів на ВЧР та водоносні горизонти на прикладі середнього Придніпров'я.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- Проаналізувати існуючу геолого-геофізичну та гідрологічну інформацію на території досліджень;
- Дослідити зміни напрямків та зон потенційного геоекологічного впливу від промислових об'єктів на ВЧР по карто-схемах при переході між масштабами з урахуванням гідрогеологічних умов.
- Виконати апробацію алгоритму прогнозування геоекологічного впливу на прикладі території розташування сховища відходів поблизу м. Марганець.

Характеристики, що визначаються експериментально: зміна потенційних напрямків та зон геоекологічного впливу промислових об'єктів на ВЧР при прогнозуванні за різномасштабною геолого-геофізичною інформацією.

1. Особливу увагу при дослідженні території середнього Придніпров'я приділяють будові Українського щита (УЩ), який представляє собою багат шарову структуру подрібнену розломами різних рангів та напрямків у різні проміжки часу. Шар порід ВЧР на території середнього Придніпров'я дорівнює 30-50 м. Осадкові породи знаходяться у значному зв'язку з тектонічною будовою УЩ. Тому особливу увагу при прогнозуванні геоекологічного впливу від сховищ відходів на ВЧР та водоносні горизонти необхідно приділяти тектонічній будові, а саме розташуванню та взаємодії розломів. Дослідження багатьох вчених щодо формування розломів земної кори детально описані та узагальнені в роботі К.Ф. Тяпкіна [1]. Розломи — це лінійні геологічні структури, що сформувалися в результаті перерозподілу напруг в земній корі, та дискретному вивільненню енергії. Оскільки розломи характеризуються не тільки значними горизонтальними розмірами по простяганню, а й шириною, що може сягати декількох десятків кілометрів, в подальшому під розломами ми будемо розуміти зону. Найкрупніші з розломів (умовно першого порядку) знаходяться друг від друга на відстані  $140 \pm 10$  км. Між ними можуть бути паралельні їм розломи інших порядків на відстанях  $1/2$ ,  $1/4$  і т.д. інтервалу між розломами першого порядку. Розломи поєднуються у системи, кожна з яких представлена взаємноортогональними розломами різних рангів. [1].

Під час періодичних вертикальних та горизонтальних коливань блоків УЩ вздовж розлому в результаті сучасних активізацій фрагментів розломів утворюються розуцільнені зони, в тому числі у ВЧР, що стосовно проблеми досліджень є потенційним шляхом геоекологічного впливу сховищ відходів. Ширина ділянки потенційного геоекологічного впливу може дорівнювати ширині розлому чи декількох розломів близьких напрямків, що наближені до джерела геоекологічного впливу. Ці зони розломів зазвичай проявляються у вигляді лінійних локальних аномалій гравітаційного та магнітного полів, лінійних ступе-

нів, лінійних порушень регулярного рисунку поля. Також вони проявляються як у рельєфі порід кристалічної основи щита, так і в рельєфі поверхні Землі. Карти індикаторів систем розломів представляють собою трансформації карт геофізичних полів та додаткової геологічної інформації в лінійні елементи, які раніше не використовували для визначення потенційних напрямків геоекологічного впливу. Це питання потребує розвитку та деталізації.

Існуючі окремі гідрогеологічні, геодинамічні, екологічні карти, карти лініментів та геофізичних полів не дають достатньо інформації щодо напрямків геоекологічного впливу та не можуть бути коректною основою для детального геоекологічного прогнозування. (Рис. 1) [2].

Існуюча картографічна інформація потребує якісної та кількісної інтерпретації. Для прогнозування потенційних напрямків розповсюдження забруднення при обробці названих карт необхідно врахувати та оцінювати активність розломів. При цьому особливу увагу необхідно приділити визначенню найбільш активних ділянок розломів. Для цього важливо враховувати властивості розломів: фрагментарність, трансформність, прямолінійність [1]. Фрагментарність розломів проявляється в тому, що геологічні характеристики фрагментів розломів та їх прояв в фізичних полях в межах різних блоків різні, а деякі фрагменти можуть не проявлятися взагалі. В цих умовах враховують прямолінійність та трансформність розломів. Важливим фактором геоекологічного прогнозування є закон успадкованих активізацій, що регулюється умовою мінімуму витраченої на перебудову енергії при формуванні та активізації розломних структур різних масштабів та віку. Така закономірність є справедливою також при формуванні сучасної ярово-балкової мережі.

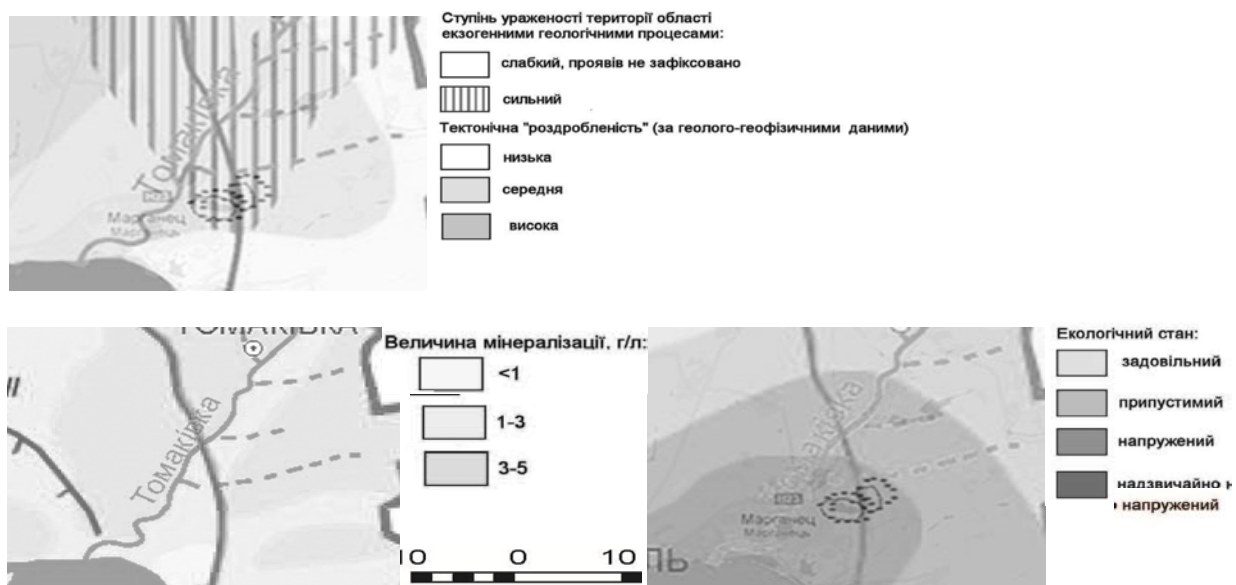


Рис. 1. Фрагменти карто-схем району м.Марганця сучасної геодинаміки (а), забруднення водоносного горизонту  $a_{III-IV}$  (б), геоекологічної карти (в).

Розроблена та детально описана у [3] нова методика обробки геолого-геофізичної інформації, в якій оцінку активності розломів можливо провести використовуючи коефіцієнт прояву окремих фрагментів розломів у різних ознаках. Таким чином аналізуємо активність окремих напрямків та їх потенційність як шляху геоекологічного впливу. Активними («довгоживущими») є роз-

ломи або їхні фрагменти, добре виявлені у всіх 4-х групах ознак: гравітаційному, магнітному полі, рельєфі порід фундаменту та поверхні Землі [1].

Представлена у роботі [3] методика має дві модифікації. Перша дозволяє прогнозувати геоекологічний вплив при швидкій обробці і отримувати сумарні карти з визначенням об'ємного розповсюдження. Інша дозволяє аналізувати конкретні потенційні напрямки геоекологічного впливу для прийняття конкретних запобіжних заходів. Для геоекологічного прогнозування при обробці геолого-геофізичної інформації за даними каталогу [1] для масштабу 1:500 000 будеться карта, згідно якої потенційний напрямок розповсюдження забруднення (переважно вертикальний чи горизонтальний) залежить від найбільш проявлених та активних розломів, що контактує з досліджуємою ділянкою.

При обробці геолого-геофізичної інформації для кожної клітинки умовної мережі на карті отримаємо множину проміжних рішень, серед яких виділяємо пріоритетні напрямки геоекологічного впливу. За таблицею 2 виконується аналіз отриманої картографічної інформації по кожній клітині умовної мережі досліджень і визначаються ділянки об'ємного геоекологічного впливу, що характеризуються пріоритетно горизонтальним чи вертикальним розповсюдженням забруднення (рис. 2).

Таблиця 2

Схема визначення пріоритетного напрямку об'ємного геоекологічного впливу

| Кількість проявлених напрямків в клітинці | Пріоритетний напрямок геоекологічного впливу     |
|---|--|
| 0   | Горизонтальний пові-                             |
| 1   | Горизонтальний або по розлому (експоненціальний) |
| 2-3 близьких                              |  |
| 2 ортогональних                           | Вертикальний, на глибину                         |
| 3   |  |
| Більше 3                                  |  |

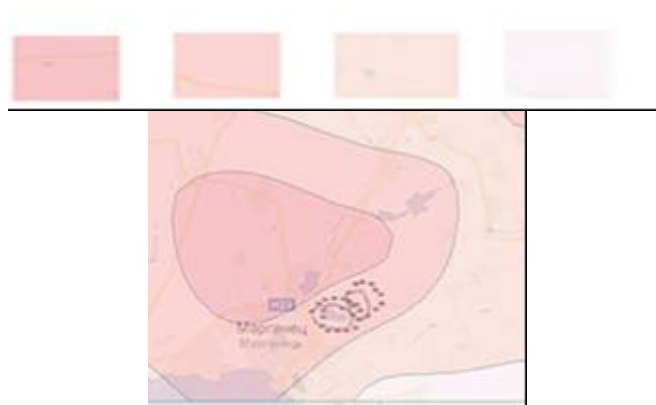


Рис. 2. Карта щільності лініаментів активних напрямків розломів масштабу 1 : 500 000 району м. Марганець

При прогнозуванні геоecологічного впливу техногенних об'єктів раціонально комплексувати геолого-геофізичну інформацію щодо тектонічної будови та гідрогеологічних особливостей території. За напрямки розломів приймають азимути найбільш проявлених простягань індикаторів розломів. В межах Українського щита зафіксовані шість систем розломів, з азимутами простягання: 0 и 270°, 17 и 287°, 35 и 305°, 45 и 315°, 62 и 332°, 77 и 347°[1].

2. Наступним етапом є врахування гідродинамічних умов регіону адже розповсюдження забруднення відбувається саме по водоносних горизонтах. На рисунку 3 надана схема прогнозування геоecологічного впливу при урахуванні обох факторів (тектонічного та гідрогеологічного). На схемі «а» показаний спрощений напрям руху забруднення по водоносному горизонту, який спрямований спочатку до розлому, а потім вздовж нього. На рисунку «б» показана зона потенційного геоecологічного впливу сховища відходів на водоносні горизонти, що контролюється активними розломами.

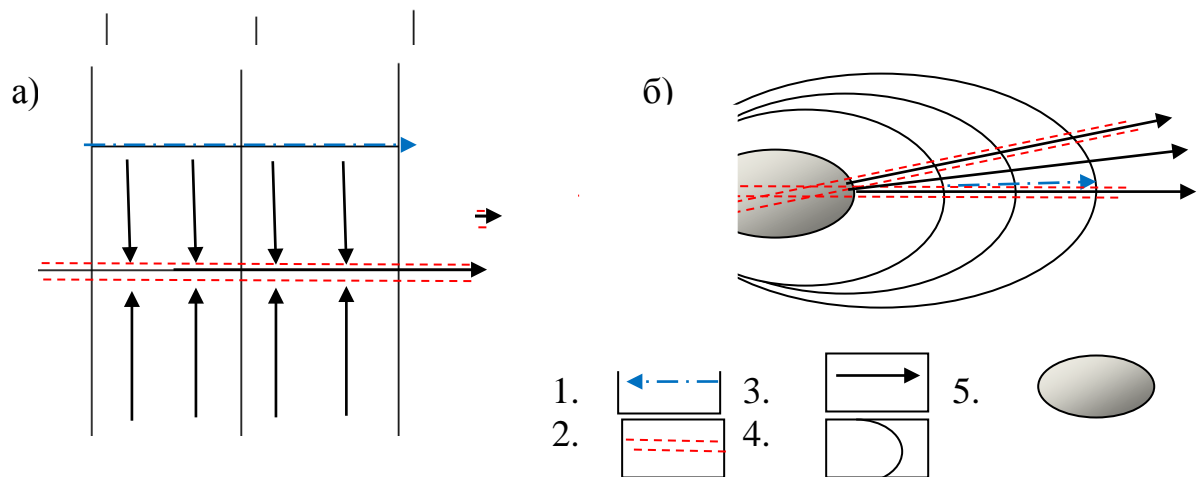


Рис. 3. Схема комплексування гідрогеологічної та тектонічної інформації для прогнозування геоecологічного впливу: а) схема контролю розломами розповсюдження забруднення, б) схема впливу через водоносні горизонти від сховища; 1) напрям руху підземних вод, 2) зона розлому, 3) напрям геоecологічного впливу та розповсюдження забруднення, 4) гідроізолінії, 5) сховище відходів.

Розповсюдження геоecологічного впливу (в т.ч. забруднення) у ВЧР не проходить по вузькому напрямку, воно поширюється на площу, що поєднує декілька напрямків. Для вирішення питання ширини зони впливу звернемося до основ тригонометрії та моделювання. На рис. 4 представлена ситуація перетинання розломів трьох близьких напрямків.

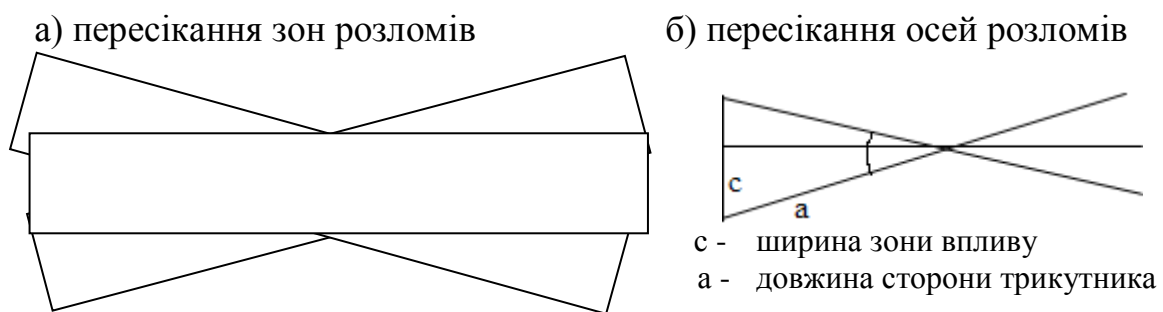


Рис. 4. Схема пересікання розломів трьох близьких напрямків для визначення ширини зони спрямованого геоecологічного впливу

Осі простягання розломів утворюють трикутник, в якому невідомою є одна з сторін. Відомо, що кут між двома іншими сторонами дорівнює в усіх випадках приблизно 30 градусів. Довжина сторін вимірюється в залежності від масштабу досліджень. В цьому випадку ширину впливу можливо розрахувати за формулою

$$c=a \cdot \sin \alpha, \quad (1)$$

де  $\alpha$  - кут між осями двох найближчих до досліджуємого розломів;

$a$  - довжина сторони в залежності від комірки досліджень у конкретному масштабі;  $c$  – ширина зони впливу. Таким чином, якщо  $\alpha = 30^\circ$   $c = a/2$ .

Отже ширина розлому пропорційна масштабу досліджень та рангу розлому. Для аналізу ширини розповсюдження забруднення від конкретного промислового об'єкту необхідні більш детальні дослідження, в залежності від розміру об'єкту та інформація щодо проявів фрагментів розломів окремих напрямків.

На картах масштабу 1:500 000 та 1:200 000 виділяються розломи 1 та 2 рангів. При дослідженні більш крупного масштабу передбачається виділення розломів 3-5 рангу, які за ранжуванням К.Ф.Тяпкіна та В. М. Гонтаренко повинні мати ширину відповідно 2,5 км, 1,25 км та 500-750 м. Це дозволяє визначати ширину потенційної зони розповсюдження забруднення та прийняти необхідні заходи щодо попередження негативного геоекологічного впливу від промислового об'єкту на прилеглу територію.

Представлений алгоритм обробки геолого-геофізичної та гідрологічної інформації апробований при дослідженні геоекологічного впливу від сховищ відходів видобутку та первинної переробки марганцевої руди поблизу м. Марганця. На карті щільності індикаторів розломів масштабу 1:200 000 можливо визначити зони пріоритетного вертикального та горизонтального спрямованого розповсюдження забруднення (геоекологічного впливу). Зони вертикального розповсюдження забруднення знаходяться на півночі від сховища. Горизонтально спрямований геоекологічний вплив потребує аналізу за напрямками. Аналіз техногенного навантаження (розташування джерел забруднення) дає можливість корегувати існуючі карти забруднення водоносних горизонтів наведені на рис.1 з урахуванням потенційних напрямків геоекологічного впливу на водоносні горизонти у ВЧР (рис.5).

Аналіз отриманих в результаті обробки вихідної інформації карт масштабу 1:200 000 надає можливість уточнювати потенційні напрямки розповсюдження забруднення, отримані з карт масштабу 1:500 000. Результати обробки карт масштабу 1:200 000 за окремими напрямками свідчать, що на обраній території спостерігаються розломи всіх напрямків за К.Ф. Тяпкіним. На окремих ділянках розломи проявляються сильніше в більшості ознак і тому можливо вважати найбільш активними відносно інших ділянок.

Дослідив територію навколо сховища в масштабі 1:200 000, можливо зробити висновок, що сховище відходів потрапляє в зони прояву розломів  $0^\circ$ ,  $35^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $62^\circ$ ,  $287^\circ$ ,  $305^\circ$ . Карта зон сумарного прояву активних напрямків з рисунка ба узагальнює цю інформацію і при співставленні та дослідженні закономірностей зображення (розподілу ізоліній) можливо провести осьові лінії проявлених розломів. Осьові лінії проводяться перпендикулярно до ізоліній. На карті зон сумарного прояву розломів виді-

ляються напрямки  $0^\circ$ ,  $35^\circ$ ,  $62^\circ$ ,  $287^\circ$ ,  $305^\circ$  навколо сховища. Таким чином сумарний рисунок масштабу 1:200 000 дозволяє отримати первинну інформацію про потенційні шляхи розповсюдження забруднення (згідно коефіцієнтів прояву розломів [3]).

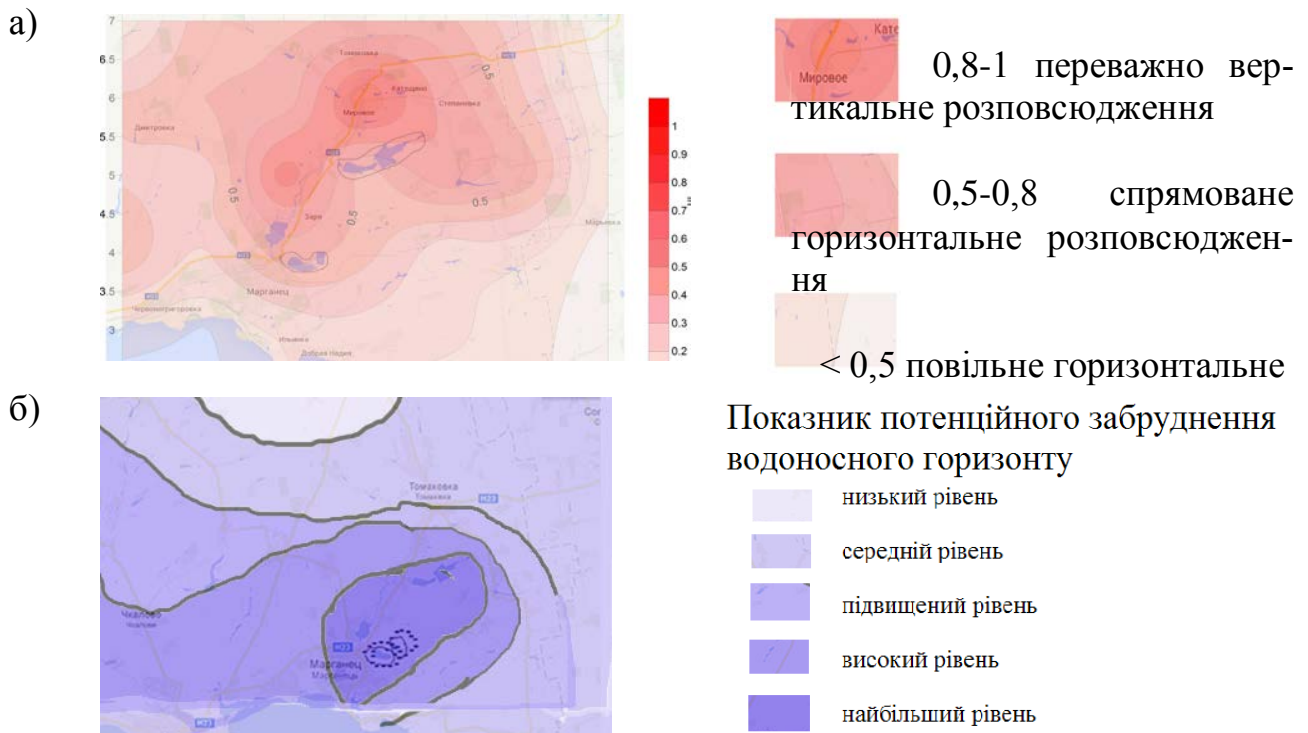


Рис. 5. Карта зон сумарного прояву активних напрямків розломів в районі м. Марганець у масштабі 1:200 000 (а), карта потенційного забруднення водоносного горизонту аш-iv (б)

Ці зони на рисунку б умовно виділені ізолінією 0,75. Також високий рівень активності мають розломи в зонах умовно виділених ізолінією 0,5. Вони є потенційними шляхами розповсюдження забруднення від сховищ відходів у ВЧР. Зона з відмітками 0,25-0,5 є контуром проявів розломів в окремих ознаках та дають загальне уявлення щодо напрямку потенційного геоecологічного впливу. Таким чином, враховуючи виділені на рисунку б зони і порівнюючи їх з інформацією про гідродинамічні умови району, можливо зробити висновок о потенційних напрямках розповсюдження забруднення через водоносні горизонти у ВЧР. З урахуванням вищенаведеного слід зазначити, що для прийняття конкретних дій щодо зниження геоecологічного впливу необхідна обробка комплексу крупномасштабної геофізичної, гідрогеологічної та тектонічної інформації і аналіз прояву розломів при переході від карт масштабу 1:200 000 до 1:50 000.

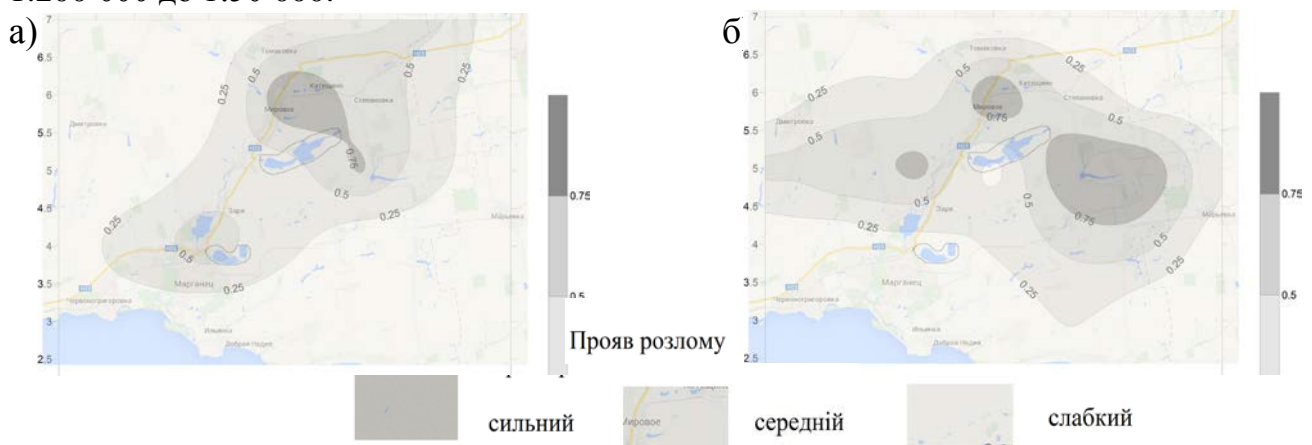


Рис. 6. Карти прояву зон розломів М 1:200 000 в районі м. Марганець по напрямку: а)  $45^\circ$ , б)  $287^\circ$

Карты, представлені на рисунку 7, отримані в результаті обробки картографічної інформації масштабу 1:50 000, а саме карт гравітаційного поля та лініментів, дозволяють зробити висновок о більшій рівномірній наповненості території ознаками розломів. З рисунка 7 видно, що в районі сховища розломи напрямків  $45^{\circ}, 62^{\circ}, 305^{\circ}$  проявлені найбільше, а  $35^{\circ}, 0^{\circ}, 287^{\circ}, 347^{\circ}$  менше. По карті сумарного прояву розломів ці напрямки виділяються, однак для точного висновку необхідно проводити комплексний аналіз. Аналогічні висновки можливо також отримати за вищенаведеною методикою опрацювавши картографічну інформацію інших геофізичних методів.

При прогнозуванні слід враховувати, що дослідження різного масштабу надають різну інформацію щодо прояву розломів. Порівняльний аналіз зон різного прояву розломів на картах, отриманих в результаті обробки вихідної тектонічної та геофізичної інформації, проведений у таблиці 3. Загалом в районі м. Марганець за результатами обробки вихідних карт при переході між масштабами спостерігаються наступні закономірності прояву розломів.

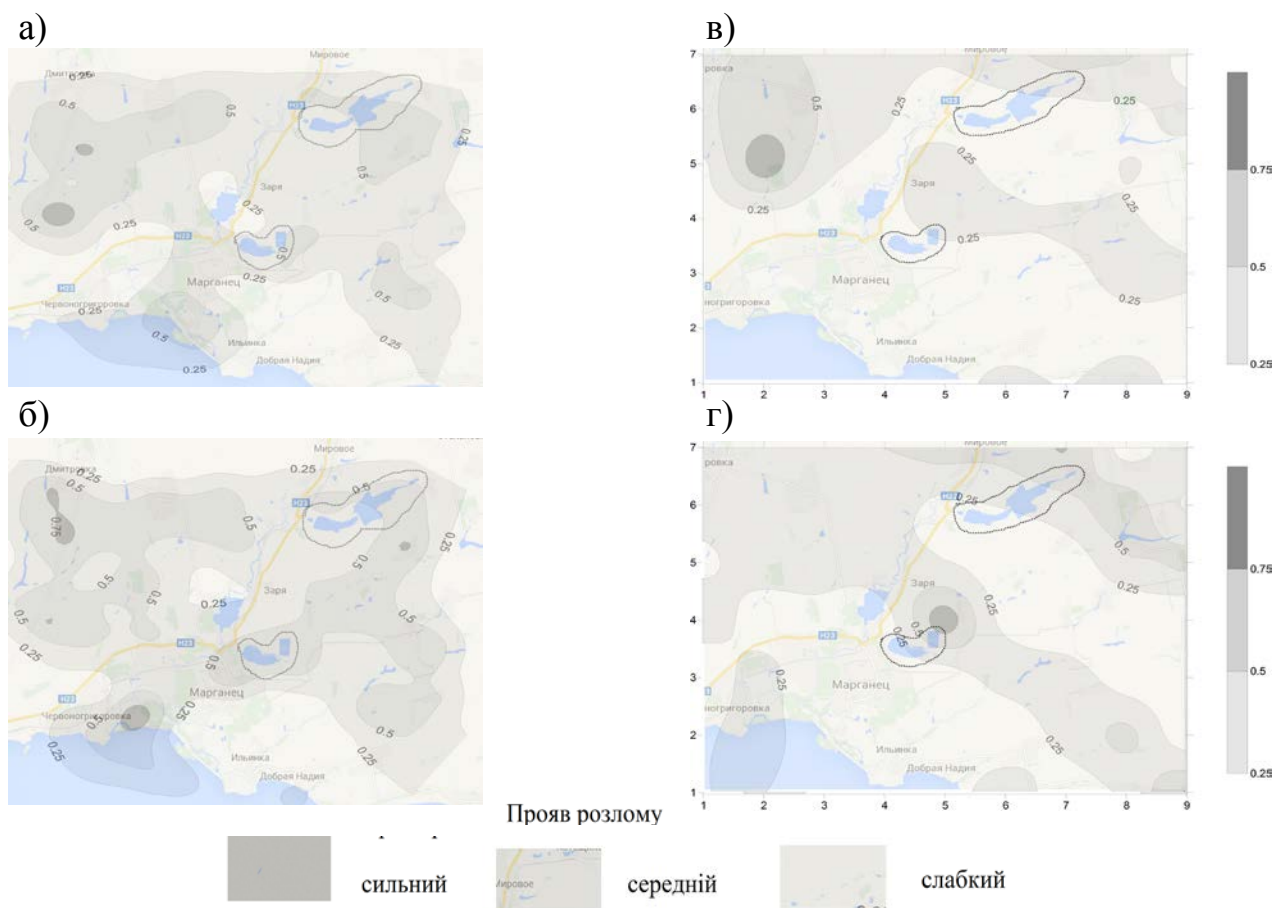


Рис. 7. Порівняльні результати обробки карт гравітаційного поля (а,б) та карт лініментів розломів (в,г) для напрямків  $287^{\circ}$  (а,в) та  $305^{\circ}$  (б,г) масштабу 1:50 000



## Порівняльний аналіз прояву розломів на різномасштабних картах

| Напрямок розлому | Особливості розташування зон прояву розломів визначені в результаті обробки вихідних карт відносно сховища                       |  |  |
|------------------|--|--|--|
|                  | Лініментів масштабу 1:200 000  | Лініментів масштабу 1:50 000   | Гравітаційного поля масштабу 1:50 000  |
| 0°               | На півдні потрапляє у зони слабкого та середнього прояву, наближена зона сильного прояву   | Сховище знаходиться в зоні слабкого прояву розлому, зона високого прояву розлому на півдні       | Розлом перетинає сховище в центральній частині   |
| 17°              | На півдні сховище перетинає зону слабкого прояву розлому, а зона високого прояву наближена з півночі                             | Сховище знаходиться в зоні слабкого прояву розлому, а зона середнього прояву наближена з півночі | На півдні сховище перетинає зону середнього прояву та в центрі зону слабкого прояву      |
| 35°              | Сховище знаходиться в зоні слабкого та середнього прояву   | Зона слабкого та середнього прояву знаходиться біля північного краю                              | Сховище знаходиться в зоні слабкого прояву   |
| 45°              | Сховище перетинає всі зони від слабкого до високого прояву і розташоване перпендикулярно до ізоліній                             | Сховище перетинає три зони в 2 місцях  | Сховище знаходиться в зонах слабкого та середнього прояву, що розташовані вздовж сховища |
| 62°              | Сховище перетинає всі три зони прояву розлому  | Сховище знаходиться в зонах слабкого та частково середнього прояву                               | Сховище знаходиться в зоні слабкого прояву.  |
| 77°              | Сховище перетинає зону слабкого прояву розлому відносно прояву на всій карті   | Сховище знаходиться в зоні слабкого прояву   | Сховище знаходиться в зонах слабкого та середнього прояву                                |
| 270°             | Прояв слабкий  | Прояв слабкий  | Прояв слабкий на північному кордоні сховища  |
| 287°             | Сховище перетинає зони слабкого та середнього прояву розлому, та розташоване своєю північною частиною між зонами сильного прояву | В північній частині сховище перетинає зону слабкого та середнього прояву                         | В північній частині сховище перетинає зону середнього прояву                             |
| 305°             | Сховище перетинає всі зони в північній частині   | В північній частині сховище перетинає зону слабкого та середнього прояву                         | Перетинає зону середнього прояву в північній частині, поблизу - зона високого прояву     |
| 315°             | Прояв слабкий  | Прояв слабкий  | Прояв слабкий  |
| 332°             | Прояв слабкий  | Прояв слабкий  | Вздовж сховища зони слабкого та середнього прояву  |
| 347°             | Зона слабкого прояву перетинає північну частину сховища  | Сховище потрапляє у всі визначені зони   | Сховище потрапляє у всі зони прояву розлому  |

За вищенаведеними картами можливо зробити характерні не суперечливі висновки про прояв розломів. Виявлено, що у межах розлому окремого напрямку, що має середній прояв на картах масштабу 1:500 000, при збільшенні масштабу виділяються окремі ділянки з найбільшим проявом цього напрямку. Якщо розлом на карті масштабу 1:500 000 проявлений сильно, то при переході на карту масштабу 1:200 000 практично на всій ділянці виділяється непошкоджена зона сильного прояву розлому, але вузла. Аналізуючи карти масштабу 1:50 000 в районі сховища Марганецького гірничо-збагачувального комбінату (м. Марганець), можливо зробити висновок, що найбільш потенційний напрямок розповсюдження забруднення - південно-східний в напрямку селища.

Результати обробки карт гравітаційного поля та карт лініаментів показали, що для пришвидшення процесу обробки інформації та прийняття рішень можливо використовувати лише карти геофізичних полів (особливо гравітаційного) разом з гідрогеологічною інформацією.

Створена методика надає можливість прогнозувати потенційний напрямок, ширину зони розповсюдження забруднення, комплексувати цю інформацію з гідрогеологічними даними і визначати потенційні ділянки геоекологічного впливу від сховищ відходів на ВЧР. Знаючи гідродинамічні умови району та водоносних горизонтів можливо визначити й час розповсюдження забруднення.

### **Висновки**

Прогнозування геоекологічного впливу сховищ відходів на ВЧР часто ускладнюється недостатньою кількістю фактичної інформації. Для більш ефективного прогнозування доцільно використання комплексної геолого-геофізичної, гідродинамічної та тектонічної інформації. Запропонована методика геоекологічного прогнозування дозволяє швидко вирішувати питання обробки інформації та прогнозування впливу промислових об'єктів на довкілля. Апробація методики помасштабного прогнозування виконана на території УЩ, поблизу міста Марганця, де розташовано декілька сховищ відходів. Результати досліджень показали, що для коректного прогнозування геоекологічного впливу необхідно використовувати геолого-геофізичну, гідродинамічну та тектонічну різномасштабну інформацію.

### **Список літератури**

1. Тяпкин К. Ф. Системы разломов Украинского щита / К. Ф. Тяпкин, В. Н. Гонтаренко. – Киев: Наукова думка, 1990. – 184 с.
2. Екологічний атлас Дніпропетровської області / Л. Зеленська [та ін.] – К. – Д.: Мапа ЛТД, 1995. – 25 с.
3. Білашенко О. Г. Використання інформації щодо розломно-блокової тектоніки для геоекологічного зонування територій / О. Г. Білашенко // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – № 40. – С. 13-18.

*Рекомендовано до публікації д.г.-м. н. Тяпкіним К.Ф..  
Надійшла до редакції 22.01.2015*