

**В.Г. Швайко<sup>1</sup>, Г.В. Лисиченко<sup>1</sup>, В.Г. Верховцев<sup>1</sup>, Н.А. Білокопитова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», м. Київ

<sup>2</sup>Дніпропетровське відділення Укр ДГРІ

## **ВИКОРИСТАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ТЕХНОГЕННО-ЕКОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ НА ВОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ ХВОСТОСХОВИЩ УРАНОВОГО ВИРОБНИЦТВА НА БАЗІ КОЛИШНЬОГО ПРИДНІПРОВСЬКОГО ХІМІЧНОГО ЗАВОДУ**

*Описаний досвід використання ГІС-технологій для оцінки стану підземних вод в районі хвостосховищ уранового виробництва та впливу їх на забруднення притоки Дніпра р. Коноплянки та самого Дніпра, зокрема підготовлені необхідні вхідні дані та проведено моделювання перетоку підземних вод, створена цифрова модель місцевості, проведена GPS-зйомка при вимірювання показників на свердловинах, визначений можливий вплив виявлених активних на новітньому етапі розвитку лінійних структур на безпеку хвостосховищ та передбачені на основі неотектонічних даних місця активного поглинання забруднених поверхневих вод.*

### **Вступ.**

Досліджувана територія є одним з найстаріших геолого-промислових районів з високорозвиненою гірничодобувною, металургійною і хімічною промисловістю. В її межах знаходяться хвостосховища Придніпровського хімічного заводу (ПХЗ) – Дніпровське, Західне, Центральний Яр і Південно-Східне, а також шламовідстійники, шламонакопичувачі та відвали Дніпродзержинського коксохімічного заводу (ДКХЗ), золонакопичувач і відвали Дніпровського металургійного комбінату (ДМК). На сьогодні на базі ПХЗ діють виробництва продукції цирконію-гафнію (випуск металевого цирконію, лігатур і сплавів, хімічних сполук на основі гафнію), іонно-обмінних матеріалів для адсорбційного вилучення з пульпи і розчинів урану, молібдену, вольфраму, галію, а також технологій очищення води для промислових потреб. На решті території розташовані як підприємства, так і житлові масиви.

Такий промисловий комплекс визначає значний вплив антропогенного фактора на навколишнє середовище, що виявляється в забрудненні високотоксичними відходами, зміні природних умов та ін. Одним з найбільш небезпечних екологічних наслідків техногенної діяльності людини є забруднення токсичними з'єднаннями підземних водоносних горизонтів і гірських виробок.

Вищевказаним і визначалася необхідність проведення спеціальних досліджень для визначення зон підвищеного взаємозв'язку підземних та поверхневих вод на території хвостосховищ.

Головною метою таких досліджень є визначення швидкості розповсюдження радіонуклідів з сховищ хвостів уранового виробництва до заплави р. Коноплянки.

Одним з найбільш ефективних методів досягнення поставленої мети є моделювання перетоку підземних вод.

### **Моделювання перетоку підземних вод.**

Вхідними даними для такої моделі є опис характеристик території, властивостей геологічного середовища, рівень підземних вод в свердловинах, визначення абсолютної висоти гирл цих свердловин. На основі цих вхідних даних, а також на основі цифрової моделі території було проведено моделювання перетоку підземних вод з використанням евристичної моделі, створеної геологами Дніпропетровського відділення Українського Державного геологорозвідувального інституту (ДВ УкрДГРІ).

Реалізація завдання вимагала комплексного використання ГІС-технологій.

Нами задіяні майже всі елементи обробки геоінформаційних даних, від GPS-зйомки та обробки даних ДЗЗ до створення 3D моделі рельєфу і рівня підземних вод для інтерпретації процесу моделювання та побудови макетів карт для роздрукування.

Нижче приведено опис всіх використаних на кожному етапі проведення робіт елементів ГС-технологій.

### **Створення цифрової моделі місцевості.**

Цифрова модель місцевості, побудована для території хвостосховищ ПХЗ (рис. 1), включає в себе такі шари:

- шар горизонталей, створений шляхом оцифровки сканованих топокарт масштабу 1:25 000;
- шар водних об'єктів, поновлений по одержаному в липні 2009 року космознімку GEO Eye-1;
- шар меж хвостосховищ, які також були поновлені з використанням космознімку GEO Eye-1;
- область моделювання;
- космознімок GEO Eye-1, який виконує роль фотоплану території; знімок має високу роздільну здатність (50 см), орторектифікований (виконане трансформування знімку з врахуванням рельєфу).

### **Проведення GPS-зйомки при вимірюванні показників на свердловинах.**

На ряді характерних свердловин були зроблені вимірювання глибини ґрунтових вод та абсолютного рівня гирла свердловини.

В результаті такого вимірювання одержано картографічний шар свердловин, табличні дані якого є вхідними для моделювання перетоку.

### **Підготовка вхідних даних для моделювання.**

При моделюванні фільтраційних процесів на території хвостосховищ ПХЗ було використано програмну систему MIF, яка розроблена в лабораторії гідрогеологічних досліджень ДВ УкрДГРІ і в останні роки удосконалена. Система MIF призначена для чисельного рішення диференційних рівнянь, які відображують процеси планово-просторової фільтрації і масопереносу в неоднорідній шаруватій товщі з урахуванням: взаємозв'язку підземних і поверхневих вод; переходу напірного режиму фільтрації в безнапірний і навпаки; перетоку через розподіляючі шари в покрівлі й підшві водоносного шару; інфільтраційного живлення за рахунок атмосферних опадів і техногенних втрат; анізотропних особливостей порід; випаровування в залежності від глибини залягання ґрунтових вод; фільтраційних властивостей тектонічних порушень.

Вхідними для моделювання були приведені в табл. 1 підготовлені масиви даних:

**Таблиця 1.** Масиви вхідної інформації для моделювання

№№ п/п	Масиви вхідної інформації	№№ п/п	Масиви вхідної інформації
1	Геометрія області моделювання	13	Інфільтрація техногенна
2	Границі I і 3-го роду	14	Абсолютна відмітка поверхні землі
3-5	Границі 3-го роду на зовнішніх контурах водоносних горизонтів (задаються абсолютні відмітки рівнів, підшви водоносних горизонтів і водопровідність водоносних горизонтів)	15	Початковий рівень підземних вод
6	Водопровідність	16	Коефіцієнти фільтрації порід*
7-9	Поверхневі водотоки (задаються масивами: абсолютні відмітки рівня, підшви підруслових відкладів, водопровідність підруслових відкладів)	17	Гравітаційна водовіддача
10	Абсолютні відмітки підшви розрахункових шарів	18	Випаровування з поверхні землі та критична глибина випаровування
11	Інфільтрація атмосферних опадів	19	Контрольні дані
12	Височування		

Вхідні дані формувались і вводилися в модель у вигляді сіткових картографічних шарів.

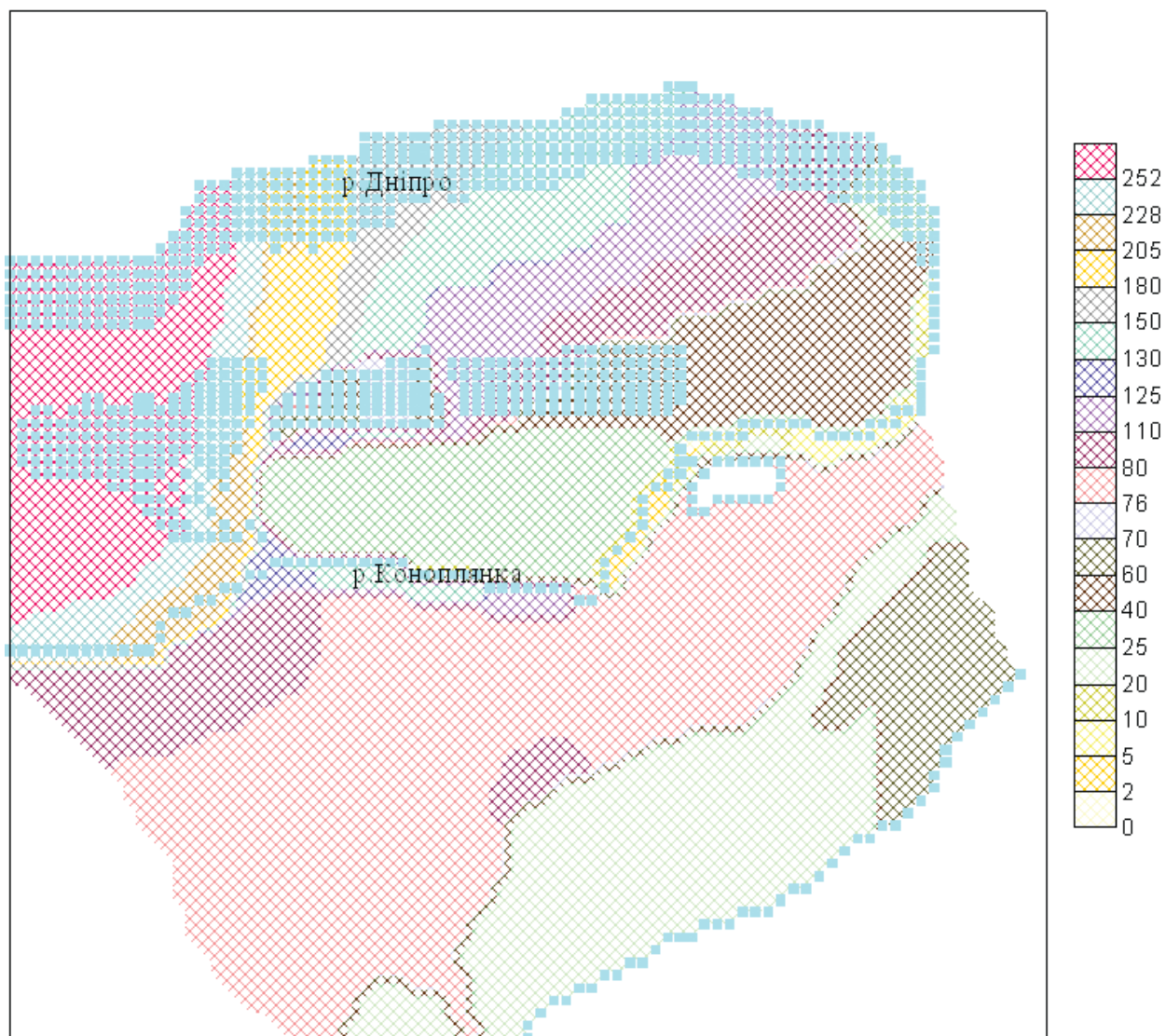




На рис. 2 приведено приклад такого шару.

Результатом моделювання є наступні цифрові шари:

- шар гідроізогіпс підземних вод на 2011 р. (рис. 3);
- шар міграції забруднюючих речовин по лініям току за 5, 10, 15 років (рис. 4-6).



**Рис. 2.** Водопровідність водоносного комплексу в четвертинних алювіальних відкладах і зоні тріщинуватості кристалічних порід

- Умовні позначення
- ▲ Свердловини
  - Гдроізогіпси
  - Горизонтали
  - Контур моделювання
  - ▨ Хвостосховища

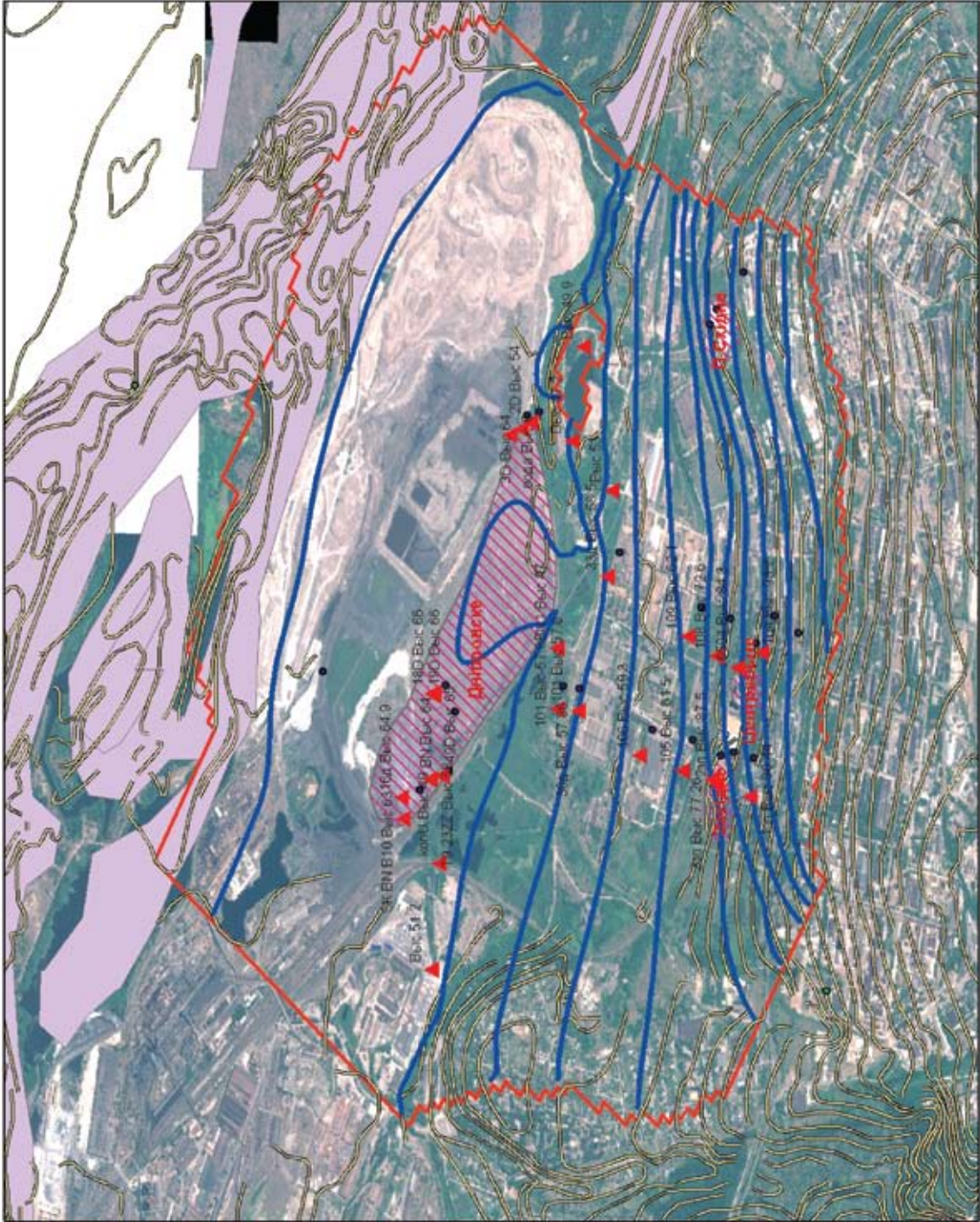


Рис. 3. Карта гдроізогіпс підземних вод на 2011 р. (результати моделювання).



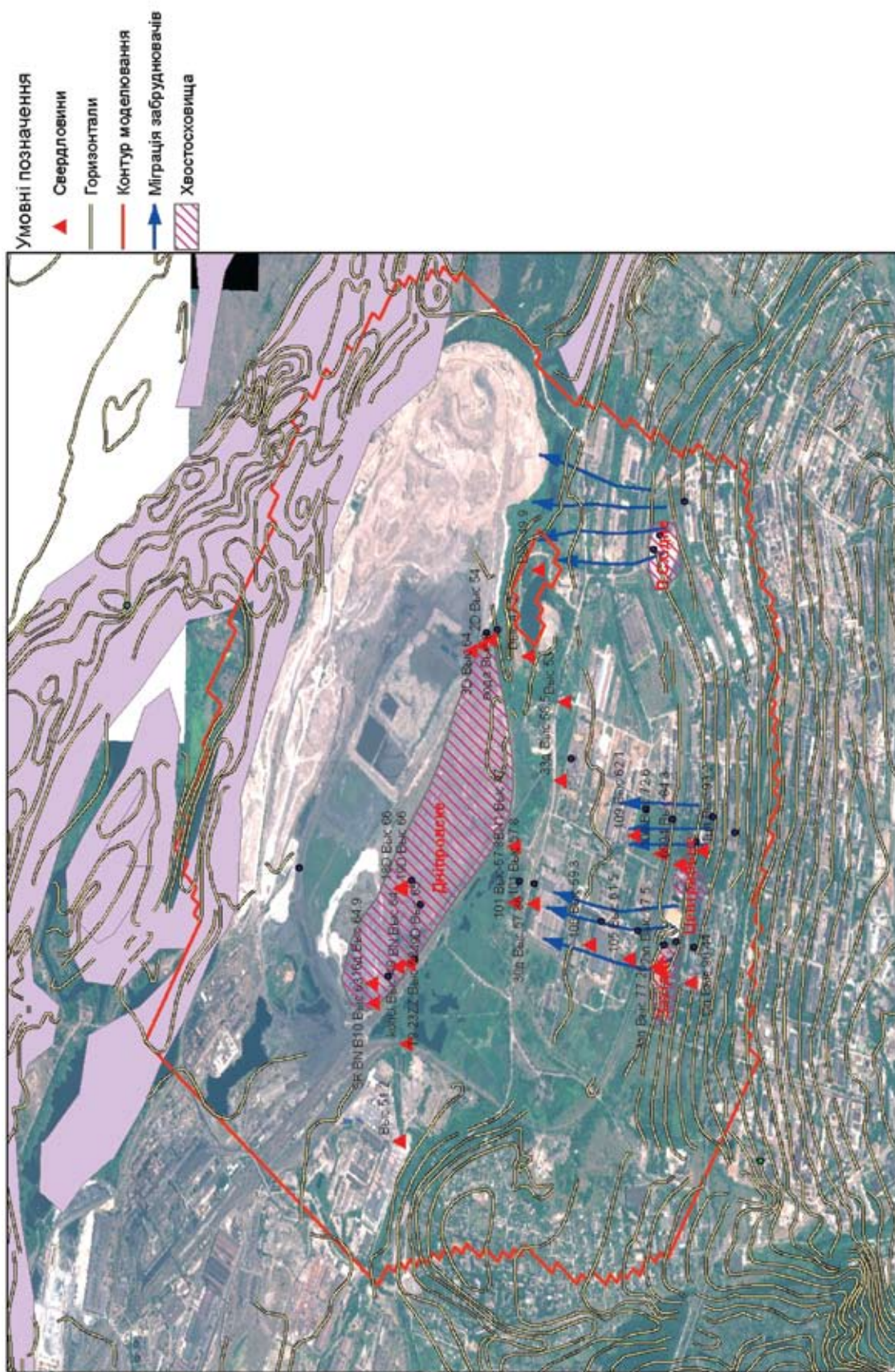


Рис. 4. Міграція забруднюючих речовин по лініям току через 5 років з хвостосховищ на півдні області фільтрації



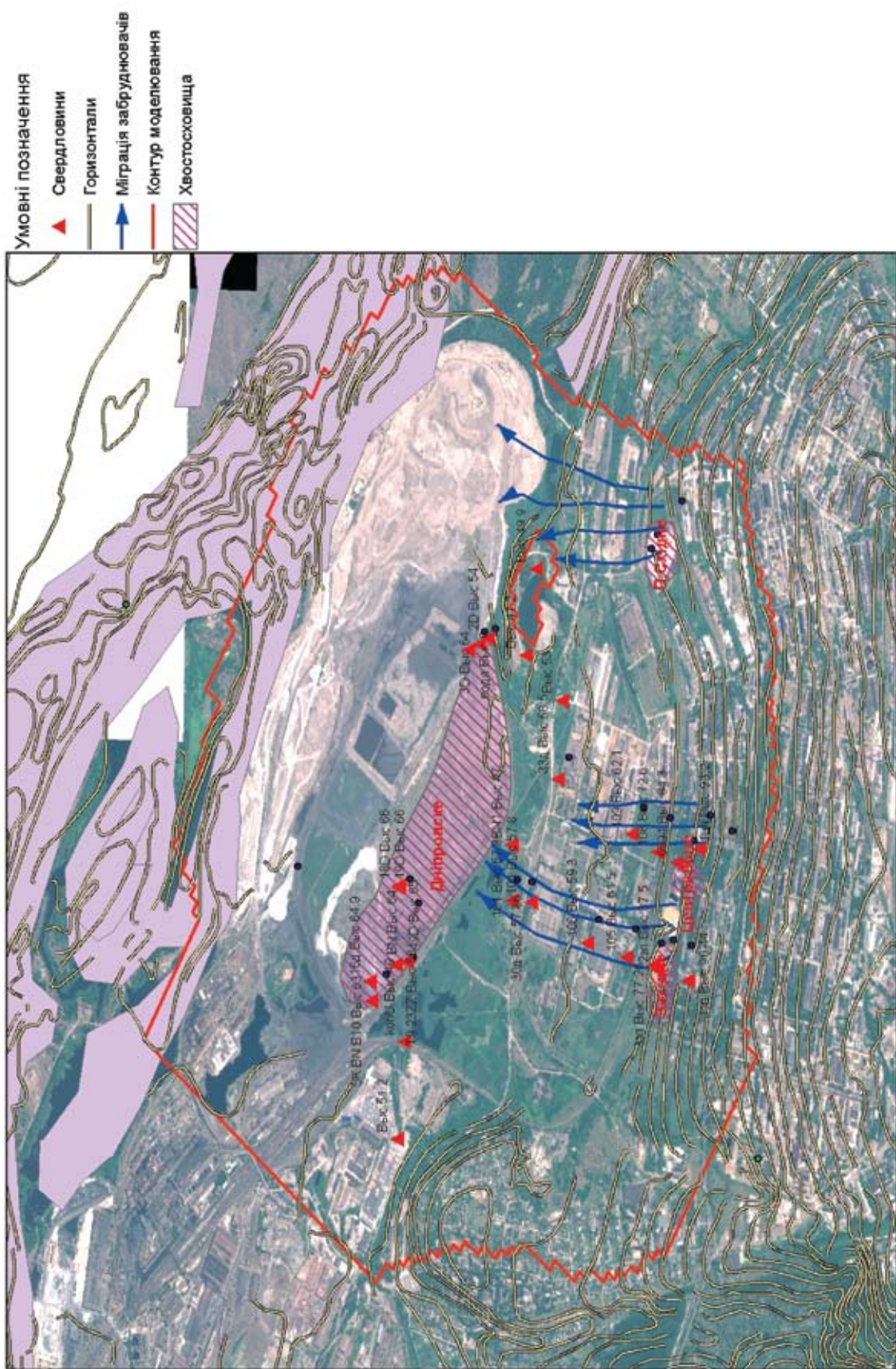


Рис. 5. Міграція забруднюючих речовин по ліній току через 10 років з хвостосховищ на півдні області фільтрації.



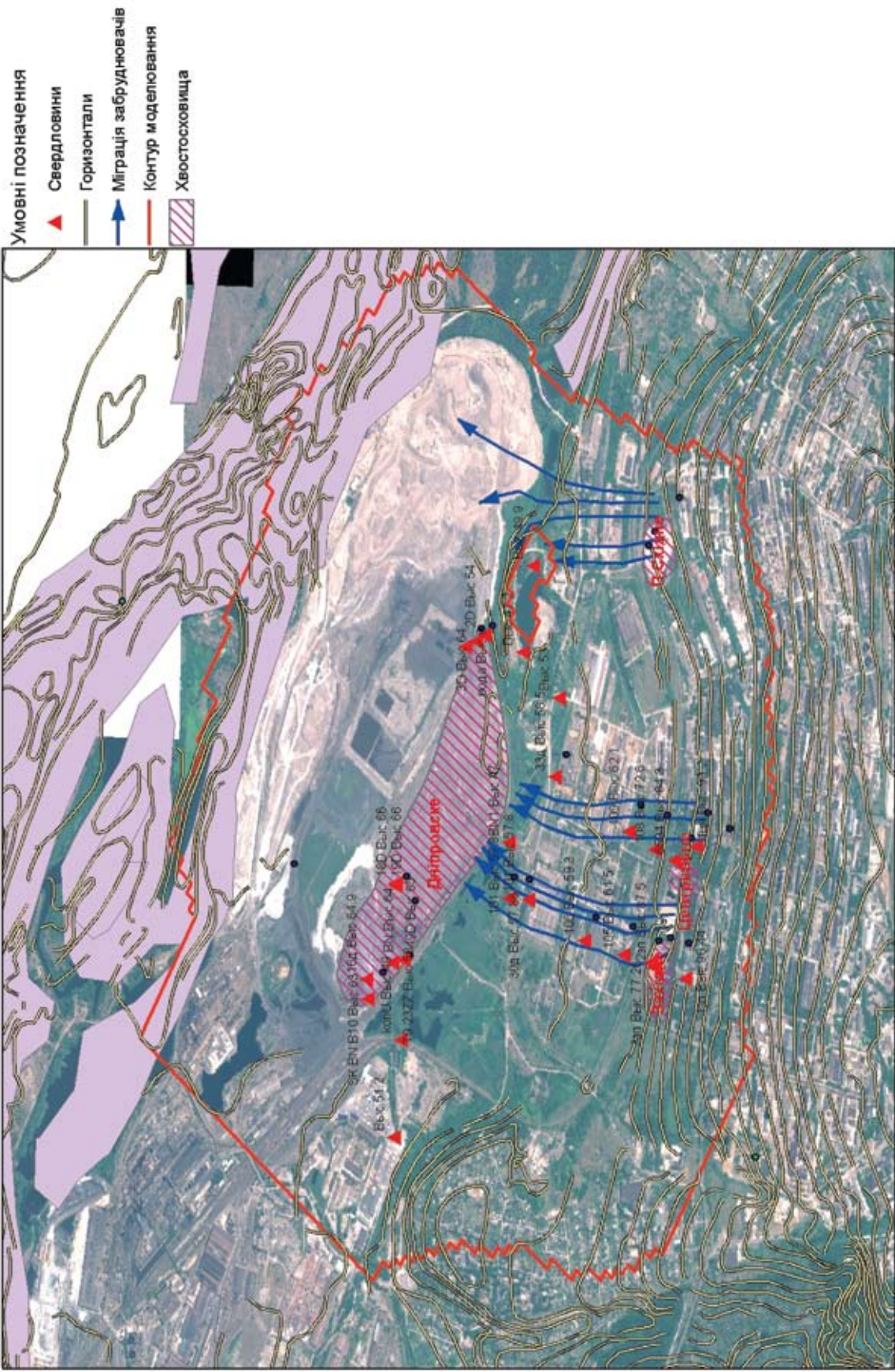


Рис. 6. Міграція забруднюючих речовин по лініям току через 15 років з хвостосховищ на півдні області фільтрації.

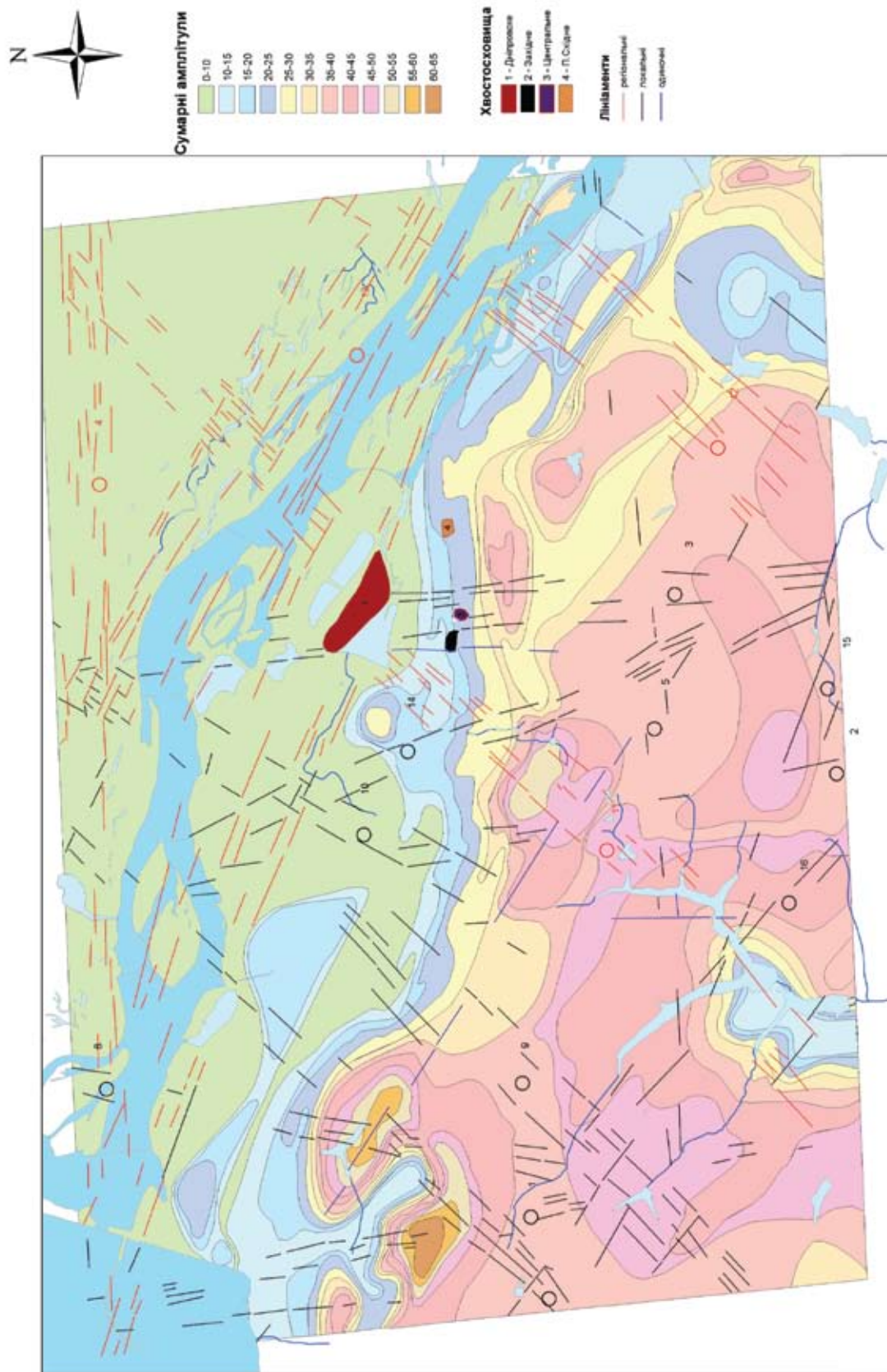


В рамках цих досліджень також були проведені спеціальні роботи з виділення активних на новітньому етапі розвитку лінійних структур, визначення зон підвищеного взаємозв'язку поверхневих і підземних вод як можливих шляхів міграції високотоксичних елементів і проникнення їх у підземні водоносні горизонти і гірські виробки.

Численними дослідженнями доведене значне збільшення проникності водоносних і поділяючих шарів у межах річкових долин, хоча уявлення про природу цього явища поки залишаються дискусійними. Зазначене явище, на думку більшості дослідників, знаходить пояснення у взаємодії й однаково спрямованому впливі таких природних факторів: тектонічних і неотектонічних (приуроченість долин до тектонічно порушених і ослаблених зон), морфоструктурних і фаціальних (річкові долини як прояв коливально-хвильових тектонічних рухів з відповідними умовами осадконакопичення і геодинаміки на глибині), гідрогеодинамічних і гідромеханічних (висхідні потоки в даних структурах у геологічному часі їхнього існуванні самі по собі збільшують проникність порід); у цих структурах не виключена також можливість прояву гідророзривів слабкопрониклих шарів на значних глибинах, що розріджують напругу від гідростатичних тисків, спрямованих нагору. Виходячи з усього сказаного ясно, що окремою складовою частиною різнопланових робіт, в тому числі й по виявленню зон поглинання забруднених поверхневих вод, повинне бути картування активних на нетектонічному етапі розвитку лінійних і кільцевих структур, вивчення їхньої внутрішньої будови і виявлення сумарних амплітуд новітніх рухів земної кори (як найважливішої їхньої характеристики).

Визначення можливого впливу виявлених активних на новітньому етапі розвитку лінійних структур на безпеку хвостосховищ та передбачення на основі неотектонічних даних місць активного поглинання забруднених поверхневих вод.

Виходячи з досвіду практичної роботи, придбаного в результаті проведення аналогічних досліджень у різних районах України, Росії і Білорусії, найбільш небезпечні ділянки, в тому числі зони активного водообміну між поверхневими і підземними водами (а отже, і зони поглинання поверхневих вод) розміщуються в місцях, у межах яких відмічається сполучення таких трьох основних неотектонічних параметрів. По-перше, це наявність лінеаментних зон (ЛЗ) — активних на новітньому етапі розвитку розломів. При цьому найбільш «сприятливі» ті з них, у складі яких виділяється найбільша кількість елементарних лінеаментів, і відмічається перевага ерозійних ландшафтних індикаторів над вододільними (або хоча б приблизно рівна їхня кількість). Ділянка виділяється або в межах зони, або ж в області її безпосереднього впливу, а також у вузлах перетину зон. По-друге, наявність локальних, як правило, позитивних кільцевих структур (КС) — найбільш сприятливих структур успадкованого, не успадкованого і похованого типів (розміщених по мірі убування їхньої ролі для рішення поставленої задачі), значно рідше — проміжного, і вкрай рідко — безкореневих. Небезпечна ділянка виділяється в периферійних частинах таких структур, що характеризуються підвищеною тріщинуватістю, або на незначному видаленні (не більш 3-4 см у масштабі карти) від її зовнішнього контуру. Слід зазначити, що ці дві ознаки найчастіше дуже близькі за змістом, оскільки більшість КС інтерпретуються нами як блоки ізометричної форми, що активно здіймаються на новітньому етапі. Третій неотектонічний параметр — збіг з ЛЗ та позитивними КС локальних аномалій підвищених значень сумарних амплітуд вертикальних тектонічних рухів земної поверхні (в даному випадку — четвертинних), що сприяє гідрогеологічному розкриттю структур обох типів. Природною додатковою ознакою служить наявність сучасного водотоку в місцях, де відзначається збіг усіх трьох вищеописаних неотектонічних параметрів. На жаль до поставлених перед нами завдань не входило виявлення активних на новітньому етапі розвитку КС різних морфогенетичних типів (це може бути темою окремого дослідження), тому при вивченні даного аспекту проблеми ми обмежились аналізом тільки двох параметрів — активних на новітньому етапі розвитку лінійних структур та особливостей прояву вертикальних рухів земної поверхні у четвертинному періоді (рис. 7).



**Рис. 7.** Карта активних на новітньому етапі розвитку лінійних структур та сумарних амплітуд вертикальних рухів земної поверхні у четвертинному періоді в межах території розташування хвостосовищ колишнього ВО «ПХЗ».



## Висновки.

1. За результатами натурних спостережень та узагальнення геолого-гідрогеологічних даних виконано схематизацію природних умов району розміщення хвостосховищ «Дніпровське» та «Західне» та розроблено фільтраційну модель з застосуванням методу математичного моделювання, що дозволив оцінити впливи техногенних споруд ВО «ПХЗ» на гідродинамічні умови досліджуваної території.

2. Математична модель була забезпечена гідрогеологічними даними спостережень за період 2002-2011 рр., які враховували основні чинники, що впливають на режим підземних вод, а саме:

- фільтраційна схема представлена водоносними горизонтами в техногенних, четвертинних алювіальних і лесових відкладах, неогенових, палеогенових та в зоні тріщинуватості кристалічних порід;
- за матеріалами спостережень обґрунтовано, що водоносні горизонти фактично утворюють єдиний водоносний комплекс і тому на моделі вони відображені як один розрахунковий шар;
- режим підземних вод визначений як стаціонарний за даними спостережень за рівнем, і тому калібрування моделі проводилось при розв'язанні стаціонарної задачі.

3. За результатами моделювання отримані такі результати:

- розвантаження підземних вод в р. Коноплянка вздовж хвостосховища «Дніпровське» відбувається з 2-х сторін, основний приплив — зі сторони Придніпровської височини;
- забруднюючі речовини з хвостосховищ «Південне-Східне», «Західне» і «Центральний Яр» досягнуть р. Коноплянка, відповідно, через 5, 10 і 15 років;
- вибирання шлаків ДМК підсилить просування забруднених вод в сторону р. Дніпро;
- підйом рівня підземних вод на час повені скоротить розвантаження забруднених вод з хвостосховища «Дніпровське» в р. Коноплянка;
- збільшення витрат поверхневих вод між створами р. Коноплянка I і II, які розташовані на початку і наприкінці хвостосховища «Дніпровське».

4. Виявлені 16 ЛЗ утворюють дві домінуючі системи, представлені прямолінійними сполученими і взаємно перпендикулярними зонами домінуючих напрямків ( $0^\circ \pm 90^\circ$ ,  $\pm 5^\circ$ ,  $40-45^\circ \pm 310-315^\circ$ ), одну проміжну систему ( $25-30^\circ \pm 295-300^\circ$ ) та два пригнічених напрямки ( $15-20^\circ$  та  $345-350^\circ$ ), кожен з яких має всього по одній зоні. Більшість їх відноситься до розряду локальних, а в ряді випадків — особливо при зближеному розташуванні декількох субпаралельних зон — до регіональних, не виключено, що і до транс-регіональних. Однозначне рішення цього питання можливо тільки при постановці дрібномасштабних досліджень з охопленням великих по площі територій. Однак уже зараз не підлягає сумніву, що ряд виявлених лінеаментів входить до складу лінійних структур більш старших порядків. За ступенем насиченості ЛЗ територія нічим істотно не відрізняється від інших раніше вивчених нами регіонів (Волино-Поділля, Український щит, Причорноморська западина, Прип'ятсько-Донецько-Дніпровська западина, Донбас). Це підтверджує, що мілкоблокова будова земної кори відноситься до глобальних явищ, а не є чимось аномальним. ЛЗ, що входять в одну систему (ґрати), очевидно, одновікові і характеризуються спільним розвитком (парагенезисом). Самі ж системи мають як різний час закладання, так і не співпадаючі в часовому відношенні періоди активізацій (але час останньої з них укладається в неотектонічний етап).

5. Виявлені сумарні амплітуди вертикальних рухів земної поверхні у четвертинному періоді в межах району мають у цілому чітко виражену площову диференціацію і досить значну інтенсивність (максимальні сумарні амплітуди перевищують +60 м, мінімальні — +10 м). При цьому найбільш загальні закономірності в площовому поширенні сумарних амплітуд погоджуються з контурами порівняно великих структурних одиниць, а деталі підкреслюють мілкоблокову будову земної кори (див. рис. 7).

6. Оцінено ступінь впливу визначених неотектонічних параметрів на безпеку хвостосховищ колишнього ВО «ПХЗ» та визначено можливі шляхи посиленої міграції різноманітного забруднення, в тому числі радіоактивної речовини. Результати робіт підтверджено комплексними геохімічними дослідженнями (в тому числі на радон і гелій) [1-3].

1. Ітоговий звіт «Польові контрольні-вимірювальні роботи, ландшафтно-геохімічна характеристика території колишнього Виробничого об'єднання «Придніпровський хімічний завод» з виконанням експертизи та контролю робіт з паспортизації хвостосховищ та об'єктів уранового виробництва. Етап 2». / Лисиченко Г.В., Верховцев В.Г., Ковалевський В.В. та ін. Київ, Інститут геохімії навколишнього середовища НАН та МНС України, 2009. – 183 с.
2. Звіт по госпдоговірній НДР на тему: «Створення системи комплексного екологічного моніторингу м. Дніпродзержинська та прилеглих територій (селищ Таромське, Сухачівка, територія зон впливу хвостосховищ)» / Лисиченко Г.В., Верховцев В.Г., Ковалевський В.В., Юськів Ю.В. Київ. Державне підприємство «Екоінформ», 2010. – 120 с.
3. Звіт по договору №86 від 30.11.2011 р. «Проведення робіт з вивчення параметрів підземного стоку та трансформації фізико-хімічних форм радіонуклідів уран-торієвого ряду в різних умовах ландшафтно-геохімічного середовища з метою параметризації прогностичних моделей і довготривалих ризиків» / Лисиченко Г.В., Бондаренко Г.М., Верховцев В.Г. та ін. Київ, ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», 2011. – 216 с.

**Швайко В.Г., Лисиченко Г.В., Верховцев В.Г., Белокопытова Н.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ТЕХНОГЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОДНУЮ СРЕДУ ХВОСТОХРАНИЛИЩ УРАНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА НА БАЗЕ БЫВШЕГО ПРИДНЕПРОВСКОГО ХИМИЧЕСКОГО ЗАВОДА**

*Описан опыт использования ГИС-технологий для оценки состояния подземных вод в районе хвостохранилищ уранового производства и влияния их на загрязнение притока Днепра р. Коноплянки и самого Днепра. В частности, подготовлены необходимые входные данные и проведено моделирование перетока подземных вод, создана цифровая модель местности, проведена GPS-съёмка при измерении показателей на скважинах, определены возможное влияние выявленных активных на новейшем этапе развития линейных структур на безопасность хвостохранилищ и предполагаемые на основе неотектонических данных места активного поглощения загрязнённых поверхностных вод.*

**Shvaiko V.G., Lysychenko G.V., Verkhovtsev V.G., Belokopitova N.A. APPLICATION OF GIS TO STUDY ANTHROPOGENIC AND ECOLOGICAL IMPACT ON THE AQUATIC ENVIRONMENT TAILINGS OF URANIUM PRODUCTION AT THE DNIEPER CHEMICAL PLANT**

*Was described experience using GIS to assess groundwater near tailings of uranium production and the impact of pollution on the tributary Konoplyanka of the Dnieper and the Dnieper. Was prepared all necessary input data and conducted modeling of groundwater flows, created by digital terrain model, carried GPS-shooting at measuring performance on wells. Was determined the possible effect of the identified active linear structures at the new level on safety of tailings. On the basis of neotectonic data the place of active absorption of polluted surface water was provided.*