

ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОФІЗИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ВИРІШЕННІ РІЗНОМАНІТНИХ ЗАВДАНЬ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ

П.Г. Пігулевський², В.К. Свистун¹, С.П. Пахомов¹, О.К. Тяпкін³, О.С. Кирилюк³

¹Дніпропетровська геофізична експедиція “Дніпрогеофізика” ДГП “Укргеофізика”, вул. Геофізична, 1, Дніпропетровськ 49057, Україна, e-mail: dpge@ukr.net

²Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, просп. Акад. Палладіна, 32, Київ 03680, Україна, e-mail: pigulev@ua.fm

³Інститут проблем природокористування та екології НАН України, вул. Московська, 6, Дніпропетровськ 49000, Україна, e-mail: ippe-main@svitonline.com

Проаналізовано можливості ефективного використання геофізичних методів за комплексного вивчення впливу техносфери на геологічне середовище для вирішення завдань техногенної безпеки. Як приклад розглянуто результати виконання робіт геоелектричними методами Дніпропетровською геофізичною експедицією “Дніпрогеофізика” під час картування масивів гірських порід для виявлення пустот і місць можливого воронкоутворення на полігоні складування відходів будівельних матеріалів коксохімічного заводу. Для вирішення поставлених завдань використано комплекс геофізичних методів, який включав аудіомагнітотелуричне зондування і резонансно-акустичне профілювання. Викладено можливості геоелектричних методів під час пошуку підземних пустот у масивах гірських порід та оцінювання процесів воронкоутворення, описано методику виконання польових робіт, результати обробки й гірничо-геологічної інтерпретації даних цих методів. Установлено, що гірські пустоти інтенсивно впливають на стан досліджуваних масивів і розвиток “неотектонічних” процесів та зміну гідродинамічного режиму як підземних, так і ґрунтових вод, що призводить до інтенсивної диференціації фізико-механічних властивостей середовища й утворення ослаблених зон, де можливе осідання поверхні.

Ключові слова: Криворізький басейн, пустота, воронка, аудіомагнітотелуричне зондування (АМТЗ), резонансно-акустичне профілювання (РАП).

Вступ. Розвиток міждисциплінарної екологічної тематики зумовив відокремлення та конкретизацію нової дисципліни – техногенної безпеки, яка на відміну від охорони праці й техніки безпеки виходить за межі окремих підприємств і набуває не тільки міждисциплінарного, а й територіального регіонального характеру. В рамках проблем техногенної безпеки, вирішення питань функціонування та оцінки стану екосистем в умовах антропогенного впливу є вкрай складним завданням як з науково-теоретичної, так і з експериментально-прикладної позиції. Це потребує розвитку нетрадиційних технологій діагностики динаміки антропогенного впливу (забруднення) та стану екосистем. Технології досліджень, в яких використовують комплекс геофізичних методів, дають змогу визначити стан і функціонування цих систем з достатнім ступенем інформативності за обмеженої вартості робіт.

Аналіз питання. Складний взаємозв'язок фізичних полів і навколишнього середовища в техногенно перевантажених регіонах не тільки в Україні, а й в інших країнах СНД потребує комплексного розв'язання цих проблем. Саме тому з'явилася необхідність розвитку вже раніше сформованого розділу розвідувальної геофізики – екогеофізики, в якому увагу зацентровано на методах досліджень як засобах контролю за середо-

вищем проживання людини. Ці методи забезпечують високу точність і чутливість під час вимірювання напруженості і варіацій фізичних полів будь-якої природи [2]. Однак у нинішній час завдання раціонального природокористування, екології й техногенної безпеки, які стоять перед геофізикою, виходять за рамки суто геологічних наук. На перехідному етапі до сталого розвитку техногенно-навантажених регіонів України вже можна говорити про становлення нової наукової геофізичної дисципліни на стику геологічних і технічних (і зокрема хімічних) наук. Незважаючи на значні теоретичні напрацювання, термінологічна і понятійна база екологічного напрямку геофізики знаходиться ще на стадії становлення. Тому існує доволі багато тлумачень щодо самої назви та інших понять, які використовують у цій науці [1, 2]. Так, є поняття “геофізика техногенної безпеки” [6] або поширений у закордонній літературі термін “геофізика навколишнього природного середовища” (Environmental Geophysics) [10]. Питання сучасної екологічної геофізичної термінології виходять за межі запропонованої статті, однак слід зазначити, що у згаданій геофізичній дисципліні вже можна чітко виділити такі основні напрями досліджень [9]: 1) природокористування – геофізичні дослідження сучасних природних і техногенних процесів у земних надрах і

контроль за станом природного середовища; 2) екологічний – вивчення безпосередньої дії змін власне геофізичних полів на людину і довкілля.

Одним із ключових питань ефективного використання геофізичних методів під час комплексного вивчення геологічного середовища – техносфери та вирішення завдань техногенної безпеки є просторово-часове прогнозування ступеня розвитку різномасштабних і різнорідних процесів у земній корі на геолого-геофізичній основі. У промисловому Придніпров'ї геофізичні дослідження зсувів, осідання ґрунту, провалів, техногенних пустот, підтоплення територій та інших небезпечних в екологічному аспекті геологічних процесів почали виконувати переважно силами ДГЕ “Дніпрогеофізика” з 1987 р. Основним завданням цієї роботи є конкретизація першочергових різномасштабних завдань екологічної геофізичної дисципліни та ілюстрація ефективності геофізичних методів для вирішення завдань техногенної безпеки в межах міських агломерацій.

Сучасні регіональні й локальні завдання геофізики техногенної безпеки. Серед ключових питань ефективного використання геофізичних методів в умовах сформованого природно-техногенного комплексу південного сходу України розглядають просторово-часове прогнозування розвитку різномасштабних і різнорідних процесів у земних надрах на тектонічній основі й створення екологічних фізико-геологічних моделей як основи всього процесу дослідження геологічного середовища і техносфери геофізичними методами. Не менш важливою є роль геофізичних критеріїв в оцінюванні умов життєдіяльності населення з метою безпечного ведення господарства (виробництва), реструктуризації економіки і переходу до сталого розвитку.

У наш час накопичено позитивний досвід вирішення вказаних питань на регіональному рівні стосовно умов індустріального південного сходу України, який ґрунтується на: 1) використанні комплексу різномасштабних карт (система вкладених телескопічних “візюк”) густоти індикаторів розломів усіх фіксованих на Українському щиті систем (згідно з [7]), що дає змогу характеризувати фоновий стан геологічного середовища щодо найбільш інтенсивних і небезпечних природних і техногенних процесів, які можуть бути загрозою для життєдіяльності людини [9]; 2) застосуванні інтегрального оцінювання рівня геофізичної дії на біоту рівноважних природної й техногенної складових, що формують високорівневий геофізичний фон, який виходить за межі “звичного” для екосистем, людини і призводить до погіршення умов життєдіяльності населення [9]; 3) створенні гравітаційних моделей (складової частини екологічної фізико-геологічної моделі) родовищ, що розробляються, і прилеглих до

них територій в межах очікуваної сфери техногенної дії як бази застосування гравірозвідки для вирішення широкого кола завдань техногенної безпеки в гірничодобувних районах [8]; 4) комплексному геофізичному моніторингу геологічного середовища в районах АЕС півдня України та ін.

Результати регіональних досліджень є основою для вирішення локальних завдань геолого-геофізичного дослідження міських агломерацій. Нижче наведено конкретний приклад результатів таких досліджень на території м. Кривий Ріг [3–5].

Вивчення підземних техногенних пустот для прогнозування провальних-зсувних явищ. Вивчення наслідків гірничо-геологічних умов експлуатації залізородних родовищ і, зокрема, виявлення тектонічних порушень і розущільнених зон тектонічного та літологічного характеру є на сьогодні актуальним завданням техногенної безпеки в Кривбасі і, в першу чергу, в м. Кривий Ріг.

Польові дослідження були виконані ДГЕ “Дніпрогеофізика” методами: електророзвідувальними в модифікації аудіомагнітотелуричного зондування (АМТЗ) та резонансно-акустичного профілювання (РАП) на полігоні складування відходів будівельних матеріалів коксохімічного заводу. Роботи АМТЗ (рис. 1) виконано в час-

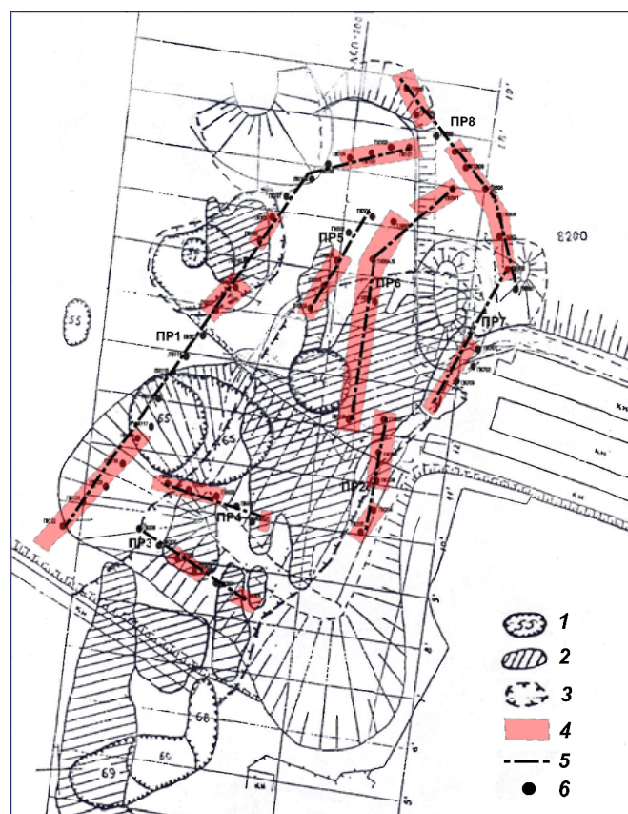


Рис. 1. План відпрацьованого простору покладу “Східний” під полігоном будівельних відходів у м. Кривий Ріг: 1 – сучасна воронка; 2 – відпрацьований простір; зони можливого воронкоутворення: 3 – за результатами досліджень 2001 р., 4 – за результатами геофізичних досліджень; 5 – профіль геофізичних досліджень; 6 – точка спостереження АМТЗ

тотному діапазоні від 10 000 до 1 Гц станцією MTU-5A канадської фірми “Фенікс” по семи профілях, які проходили над передбачуваними пустотами й ослабленими інтервалами (пустотами й тріщинуватими зонами). Положення профілів визначено з урахуванням поверхневих умов ділянки робіт і можливостей забезпечення “нормальних” заземлень електродів. Усього відпрацьовано 60 фізичних точок, у тому числі 4 контрольні точки для оцінювання якості робіт. За даними контрольних вимірів похибка визначення імпедансу становила 4,1 %. Крок спостереження 10 м. Реєстрували п’ять компонентів електромагнітного поля (E_x , E_y , H_x , H_y , H_z). Датчиками електричного поля були лінії MN завдовжки 10 м, заземлені латунними електродами; датчиками магнітного поля – магнітні датчики МТС-30. Тривалість одного запису 15 хв. Азимути датчиків поля: $x = 0^\circ$, $y = 90^\circ$. Планове й висотне положення точок АТМЗ визначали за вбудованим у вимірник MTU-5A GPS.

Роботи методом РАП (рис. 2, б) проведено по 8 профілях із кроком вимірів 5 м. Сигнал реєстрували апаратним (вимірювальним) комплексом РАП-2008, розробленим у процесі вдосконалення перших модифікацій апаратури й впровадженим у виробництво компанією “Интергеорап” (з 2008 р. – GEOEXPLORE) в 2009 р.

Частота дискретизації сигналу 2000 Гц, довжина записуваного сигналу 8192 відліки.

Загальна кількість польових вимірів на об’єкті – 158 точок. Для оцінки якості робіт на 10 пунктах були виконані повторні (контрольні) виміри. За даними контрольних вимірів похибка визначення глибин не перевищила 2,5 %.

Обробка польових досліджень. За результатами якісної обробки виконано стратифікацію геологічного середовища й побудовано його модель, що дало змогу отримати додаткову інформацію про приповерхневі й глибинні структури. Цей етап обробки носить виключно професійний характер, тому його не наводимо. Напівкількісна обробка полягала у побудові моделі першого наближення з використанням результатів якісної обробки, також використано вейвлет-аналіз електромагнітних параметрів (імпедансу, фази й опору). Після цих процедур проводили одно- й двовимірну інверсії (програми: msu_mt1d, MTS_Prof inv, MT-2Dtools). У результаті отримано вертикальні розрізи зміни електромагнітного поля із глибиною.

Дані, отримані за методом РАП, обробляли за двома алгоритмами аналізу первинної інформації – до глибин 50 і 300 м. Перший алгоритм (глибина 50 м) орієнтований на виділення градієнтних зон спектральних амплітуд. За його

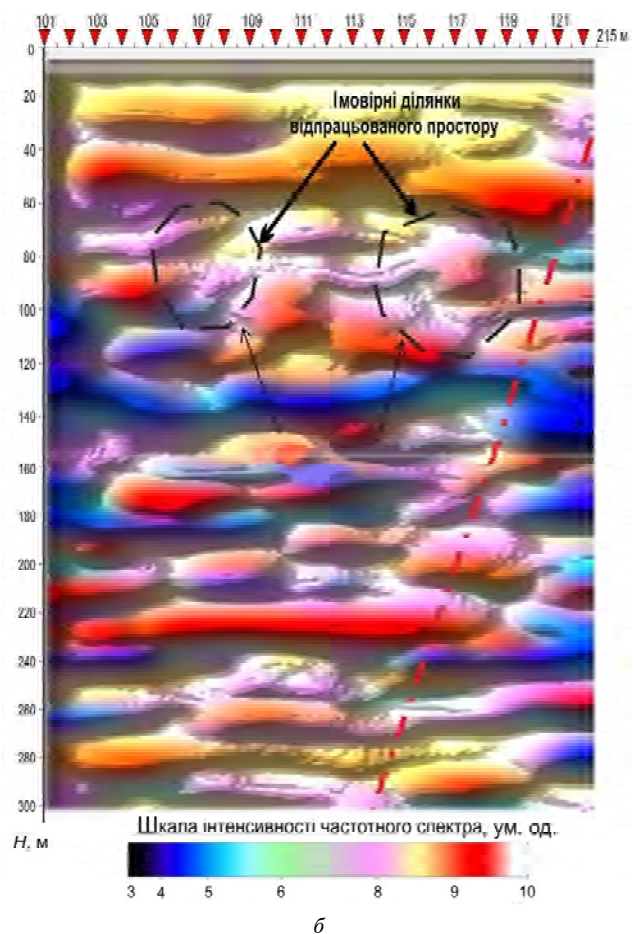
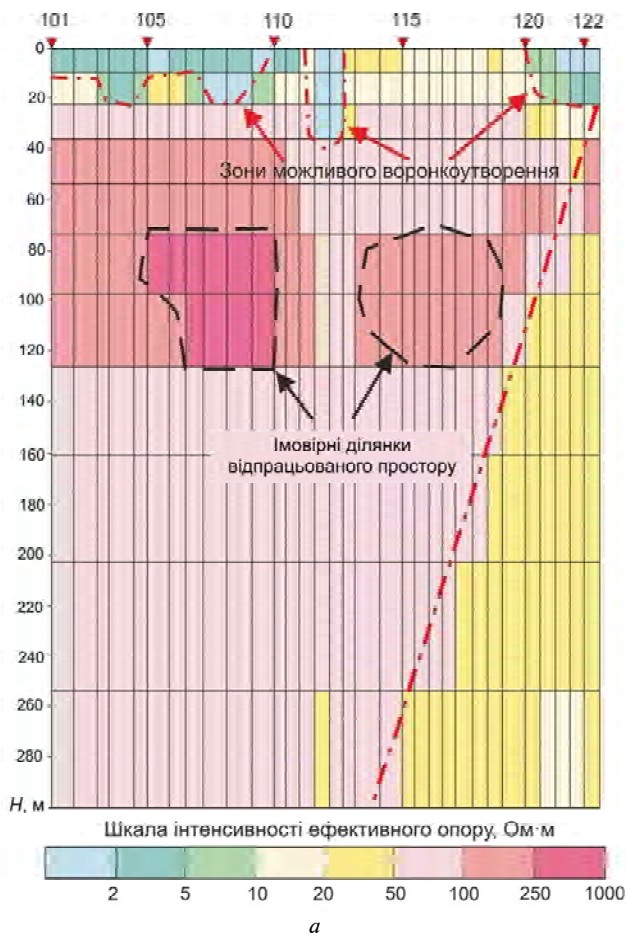


Рис. 2. Геоелектрична модель розрізу по профілю 1: а – за даними АТМЗ; б – частотно-спектральний РАП-розріз

використання межі блоків з різними фізико-механічними властивостями у верхній частині розрізу проявляються найбільш контрастно. За другим алгоритмом зроблено спробу візуалізації амплітуд частотного спектра – за такого підходу з'являється можливість візуалізації параметрів розрізу в більш глибинному діапазоні.

Ослаблені неоднорідності в масиві виділяли за результатами спільного аналізу всіх варіантів обробки РАП і результатів АМТЗ. При цьому вирішували два завдання:

- вивчення верхньої частини розрізу для виділення ділянок воронкоутворення;
- вивчення більш глибинної частини розрізу (до 300 м) з метою з'ясування впливу відпрацьованих гірничих виробок на процеси їх куполоформування й утворення розушільнених зон.

Передбачувані ділянки воронкоутворення виділяли за зниженими значеннями опору (1–10 Ом·м) за методом АМТЗ і за результатами морфоструктурного аналізу РАП-розрізів – морфології зон підвищених градієнтів частотних спектрів. Передбачувані ділянки відпрацьованого простору й спричинені ним ділянки розушільнених зон виявляли за високими значеннями опору від 200 до 1000 Ом·м за методом АМТЗ і як структурні особ-

ливості частотного спектра та його амплітуд за методом РАП.

На профілі 1 за методом АМТЗ (рис. 2, а) в інтервалах пікетів 101–110, 112–113, 120–122 виділено 3 зони, за методом РАП (рис. 2, б, 3, а) в інтервалах пікетів 101–104, 107–109, 111–113 і 118–122 – 4 зони. У контурах цих зон передбачається розвиток процесів воронкоутворення. З огляду на те, що крок спостережень за методом РАП детальніший, ніж за методом АМТЗ, і диференціація верхньої частини розрізу набагато вища, передбачається існування 4 зон в інтервалах глибин від 2,5 до 35 м. В інтервалі глибин 70–120 м прогнозуємо 2 ділянки відпрацьованого простору – північну і південну. Ділянки різняться високим значенням опору (300–500 Ом·м), змінною амплітудою, частотним спектром, а також морфологічними характеристиками спектрального “растра” у кольорово-тіньовому поданні та інтерпретовані як “ділянки з підвищеною пористістю”.

На північній ділянці виявлено перші три з передбачуваних зон воронкоутворення, на південному – четверта з них. У південній частині профілю досить чітко зафіксовано лінійну крутопадаючу на північ структуру (рис. 2, 3, а). Ця структура може відповідати розлому, який розділяє лежачий і висячий блоки рудного тіла.

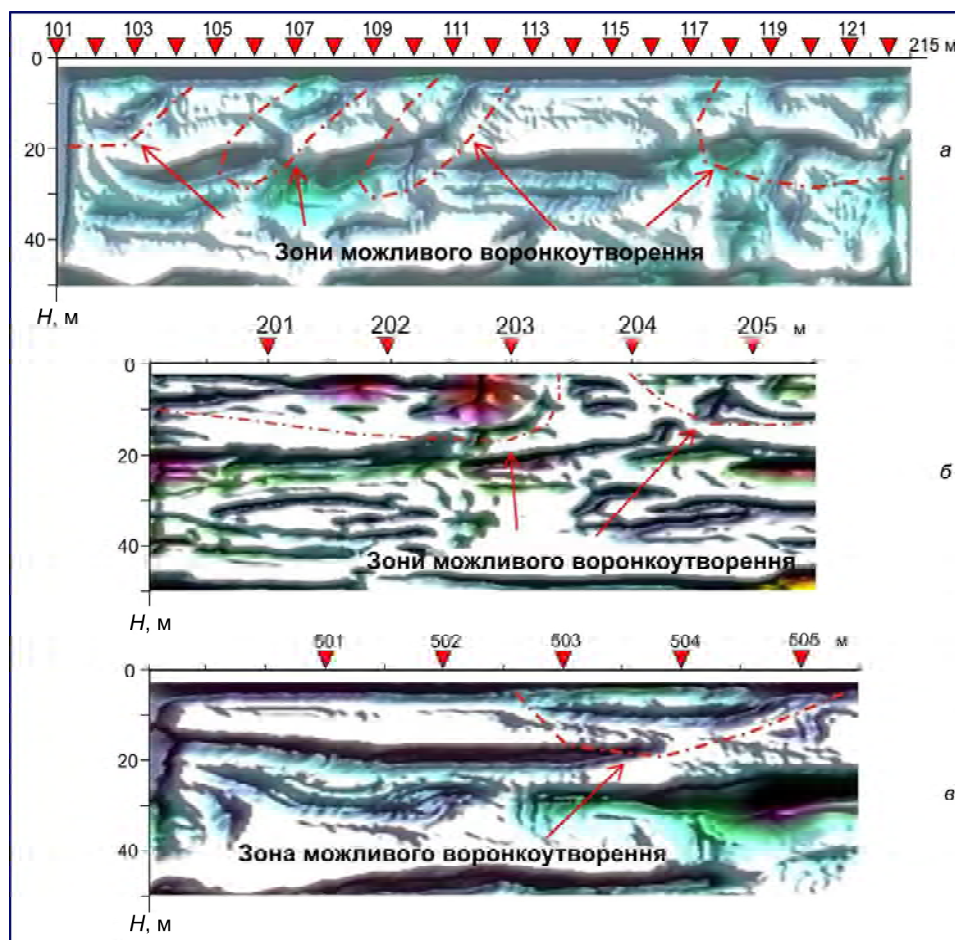


Рис. 3. Частотно-спектральні РАП-розрізи до глибини 50 м: а – профіль 1; б – профіль 2; в – профіль 5

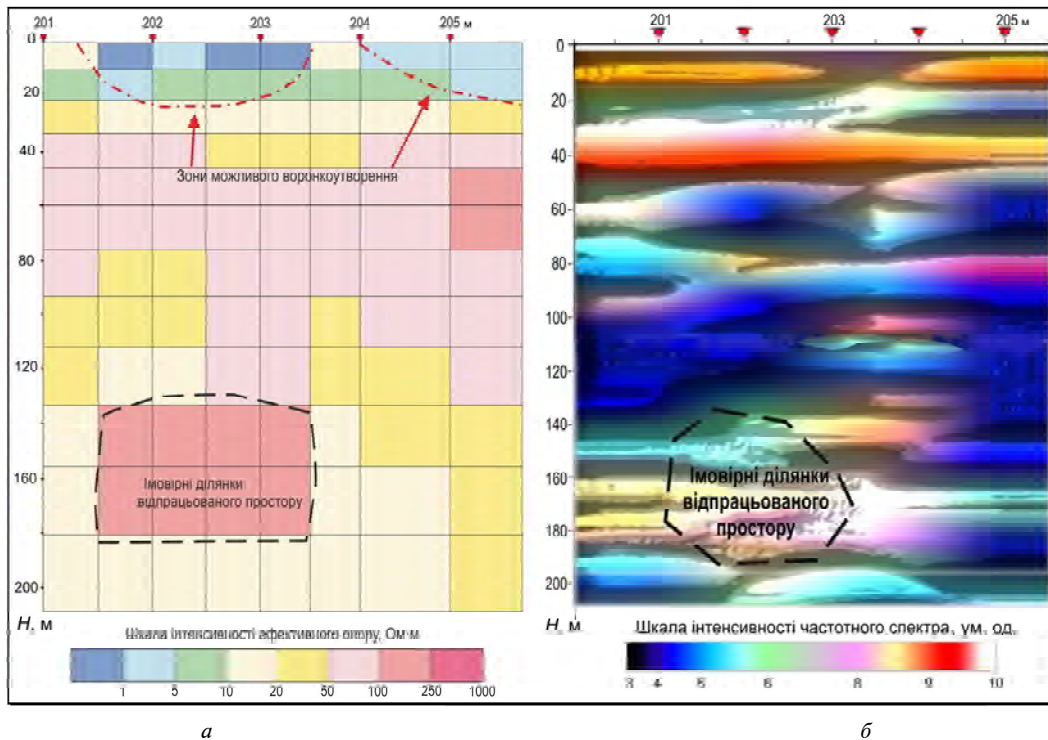


Рис. 4. Геоелектрична модель розрізу по профілю 2: а – за даними АМТЗ; б – частотно-спектральний РАП-розріз

На профілі 2 (рис. 4 а, б) передбачаємо дві зони воронкоутворення й одну ділянку відпрацьованого простору. Першу (північну) зону воронкоутворення прогнозуємо в інтервалі пікетів 201–203, північна частина другої зони достатньо чітко проявляється на південь від пікета 204. В інтервалах глибин 140–190 м між пікетами 202–203 виділено аномалію до 250 Ом·м, яку інтерпретуємо як ділянку відпрацьованого простору. З огляду на його відображення на РАП-розрізах, профілем пересічено крайову частину цього простору (див. рис. 3, б).

На ділянці профілю між пікетами 203–204 чітко зафіксовано вертикальну структуру з уявним опором від 40 до 80 Ом·м, на РАП-розрізі вона відображена серією локальних аномалій в інтервалі глибин від 20 до 150 м і переривається на ділянці відпрацьованого простору. Можна припустити, що структура утворилась унаслідок інфільтраційних і суфозійних процесів. Локальні аномалії амплітуд частотного спектра у цьому випадку можна розглядати як “проміжні камери”, в яких тимчасово нагромаджується тонкозернистий матеріал, транспортований в процесі суфозії з верхніх шарів розрізу.

На профілі 3 (не наведено) передбачали 3 зони воронкоутворення й 1 ділянку відпрацьованого простору. Прогнозовані ділянки відпрацьованого простору простежено на всьому профілі в інтервалі глибин від 175 до 245 м.

У центральній частині профілю (між пікетами 301 і 304) на глибинах від 40 до 110 м чітко виявляється аномалія до 500 Ом·м, подібна до ано-

малії по профілю 2. Порівняно з нею просторові розміри локальних аномалій у РАП-розрізі по профілю 3 удвічі перевищують розміри аналогічних аномалій, виділених на профілі 2. Природа цих аномалій може бути зумовлена впливом ділянок відпрацьованого простору, а також інфільтраційно-суфозійними процесами. Масштаб проведених досліджень не дає змоги тлумачити їх однозначно.

На профілі 4 інтерпретовано 2 зони воронкоутворення (за даними АМТЗ – тільки 1, пікети 404–405). У межах усього профілю в інтервалі глибин 220–255 м прогнозуємо крайову (західну) частину відпрацьованого простору. За морфологічними й амплітудними характеристиками аномалії можна припустити, що відпрацьований простір значною мірою заповнений.

На профілі 5 ділянки відпрацьованого простору виділено в інтервалі глибин від 180 до 265 м (рис. 5, а, б). “Роздув” цієї зони чітко проявляється в інтервалі пікетів 501–503. Потужність зони різко зменшується у південному напрямку. Субвертикальну серію локальних РАП-аномалій в інтервалі глибин від 25 до 170 м трактуємо як наслідок активного прояву інфільтраційно-суфозійних процесів (рис. 5, б).

На профілі 6 відпрацьований простір передбачаємо на ділянці від пікета 601 до пікета 610 в інтервалі глибин від 130 до 230 м. Епіцентр зони знаходиться в центральній частині профілю між пікетами 604 і 607.

На профілях 7 і 8 в інтервалах, зумовлених відпрацьованим простором, аномалій не вияв-

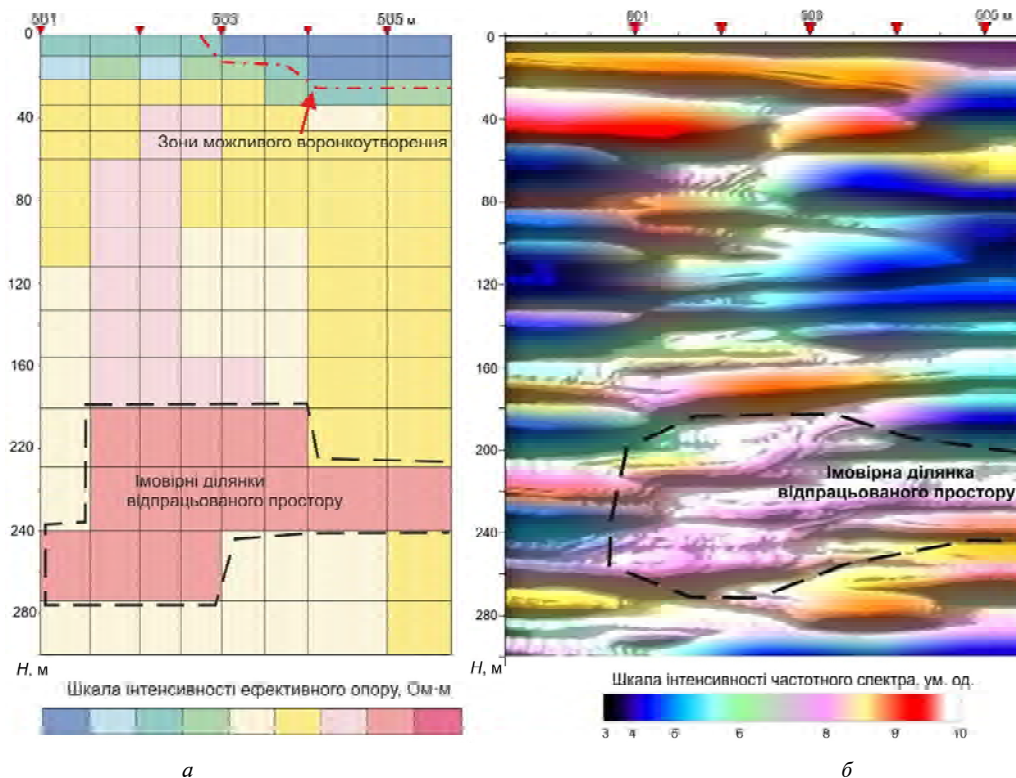


Рис. 5. Геоелектрична модель розрізу по профілю 5: а – за даними АМТЗ; б – частотно-спектральний РАП-розріз

лено. Локальні аномалії, зафіксовані в центральній частині профілю, можливо, пов'язані з неоднорідностями фізико-механічних властивостей розрізу, що сформувалися в процесі переміщення матеріалу під час “заповнення” відпрацьованого простору (гірничих виробок, розташованих у напрямку на південний схід від профілю 7).

У разі “розвантаження” цих проміжних камер у результаті переміщення матеріалу до більш глибоких шарів можуть “виникнути” процеси воронкоутворення. Завершення описаного вище багатоступінчастого (циклічного) процесу ймовірно тільки у випадку повного заповнення високопористим матеріалом відпрацьованих гірничих виробок і переходу середовища в стан рівноваги.

Висновки. Накопичено позитивний досвід вирішення питань геофізики техногенної безпеки стосовно умов індустріального південного сходу України. Результати цих досліджень є основою успішного локального геолого-геофізичного вивчення та створення моніторингу зсувів, осідання ґрунтів, підтоплення та інших небезпечних в екологічному аспекті геологічних процесів і природно-техногенних комплексів з уже сформованою господарською інфраструктурою та рівнем забруднення навколишнього середовища.

Важливим завданням гірничодобувної галузі крім видобутку руди є також прогнозування гірничо-геологічних умов експлуатації родовищ і, зокрема, виявлення різноамплітудних тектонічних порушень, розсушільнених зон, провальних-зсувних явищ, визначення пустот тектонічного і літологіч-

ного характеру, зон підтоплення, які містять небезпеку, зокрема, для жителів Кривбасу.

Наведений приклад успішного застосування геоелектричних досліджень на полігоні складування відходів будівельних матеріалів свідчить про достатню високу ефективність геофізичних методів під час пошуків відпрацьованого простору та зон можливого воронкоутворення над ними для попередження небезпечних геоекологічних явищ. Наявність цих техногенних утворень певною мірою відбивається і на гідрогеологічному режимі території, який, у свою чергу, негативно впливає на водозабезпечення території.

1. Богословский В.А. Геофизические методы в экологии и экологическом образовании / В.А. Богословский, О.Л. Кузнецов, В.К. Хмельской // Геофизика. – 1995. – № 5. – С. 48–53.
2. Вахромеев Г.С. Экологическая геофизика. – Иркутск: ИрГТУ, 1995. – 216 с.
3. Використання геофізичних методів при вирішенні завдань техногенної безпеки в межах міських агломерацій / П.Г. Пігулевський, В.К. Свистун, С.О. Слободянюк, О.К. Тяпкін // Вісник Київського національного університету. Геологія. – 2001. – Вип. 19. – С. 46–50.
4. Пігулевский П.И. О необходимости комплексных исследований геоэкологических проблем Криворожского железорудного бассейна Украины / П.И. Пігулевський, В.К. Свистун, А.С. Кирилюк // Обеспечение безопасности в чрезвычайных ситуациях. Материалы IX Междунар. науч. практ. конф. (Воронеж, 18 дек. 2013 г.). Ч. 3. – Воронеж, 2013. – С. 4–8.
5. О возможностях геофизических методов при выявлении пустот в массивах горных пород (на примере

- Кривбасса) / П.И. Пигулевский, В.К. Свистун, С.П. Пахомов, А.С. Кирилюк. – Воронеж: ФГБОУ ВПО “Воронеж. гос. техн. ун-т”, 2014. – Ч. 2. – С. 118–122.
6. Свистун В.К. К вопросу становления геофизики техногенной безопасности и создания тектонической основы для решения ее задач / В.К. Свистун, П.И. Пигулевский, О.К. Тяпкин // Вісн. Дніпропетр. ун-ту. Сер. Геологія. Географія. – 2000. – Вип. 3. – С. 24–30.
 7. Тяпкин К.Ф. Физика Земли / К.Ф. Тяпкин. – Киев: Вища шк., 1998. – 312 с.
 8. Тяпкин О.К. Применение гравиразведки для оценки геолого-экологических последствий горнодобывающей деятельности / О.К. Тяпкин, В.П. Солдатенко // Геофиз. журн. – 2000. – Т. 22, № 1. – С. 21–30.
 9. Шапарь А.Г. Экогеофизические аспекты районирования промышленно и техногенно-нагруженных регионов / А.Г. Шапарь, О.К. Тяпкин // Доп. НАН України. – 1999. – № 3. – С. 133–137.
 10. Doll W.E. How can environmental geophysics be advanced? // Geophysics: The leading edge of exploration. – 1994. – V. 13, iss. 10. – P. 1035–1039.

Надійшла до редакції 25.06.2015 р.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РЕШЕНИИ РАЗНООБРАЗНЫХ ЗАДАЧ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

П.И. Пигулевский², В.К. Свистун¹, С.П. Пахомов¹, О.К. Тяпкин³, А.С. Кирилюк³

¹Днепропетровская геофизическая экспедиция “Днепрогеофизика” ГПП “Укргеофизика”, ул. Геофизическая, 1, Днепропетровск 49057, Украина, e-mail: dpge@ukr.net

²Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, просп. Акад. Палладина, 32, Киев 03680, Украина, e-mail: pigulev@ua.fm

³Институт проблем природопользования и экологии НАН Украины, ул. Московская, 6, Днепропетровск 49000, Украина, e-mail: ippe-main@svitonline.com

Анализируются возможности эффективного применения комплекса геофизических методов при изучении влияния техносферы на геологическую среду и решении задач техногенной безопасности. В качестве примера рассмотрены результаты выполнения работ геоэлектрическими методами Днепропетровской геофизической экспедицией “Днепрогеофизика” при картировании массивов горных пород с целью выявления пустот и мест возможного воронкообразования на полигоне складирования отходов строительных материалов коксохимического завода. Для решения поставленных задач использовался комплекс геофизических методов, который включал аудимагнитотеллурическое зондирование и резонансно-акустическое профилирование. Изложены возможности геоэлектрических методов при оценке процессов воронкообразования и поиске подземных пустот в массивах горных пород, описаны методика выполнения полевых работ, результаты обработки и горно-геологической интерпретации данных этих методов. Установлено, что горные выработки интенсивно воздействуют на состояние изучаемых массивов пространства, на развитие “неотектонических” процессов, изменение гидродинамического режима как подземных, так и грунтовых вод. Эти изменения вызывают интенсивную дифференциацию физико-механических свойств среды и образование ослабленных зон, в которых может произойти просадка поверхности.

Ключевые слова: Криворожский бассейн, пустота, воронка, аудимагнитотеллурическое зондирование, резонансно-акустическое профилирование.

APPLICATION OF GEOPHYSICAL TECHNOLOGIES IN SOLVING VARIOUS PROBLEMS OF TECHNOGENIC SAFETY

P.I. Pigulevskiy², V.K. Svystun¹, S.P. Pakhomov¹, O.K. Tyapkin³, A.S. Kyryliuk³

¹Dnepropetrovsk geophysical expedition “Dneprogeofizika” SGE “Ukrgeofizika”, 1 Geophysical Str., Dnepropetrovsk 49057, Ukraine, e-mail: dpge@ukr.net

²Institute of Geophysics, National Academy of Sciences of Ukraine, 32 Palladin Ave., Kyiv 03680, Ukraine, e-mail: pigulev@ua.fm

³Institute for Nature Management Problems and Ecology of NAS of Ukraine, 6 Moscovskaya Str., Dnepropetrovsk 49000, Ukraine, e-mail: ippe-main@svitonline.com

Purpose. The purpose of the paper is to investigate the possibility of effective application of geophysical methods for detection and mapping in the areas of active mining of mineral deposits (with open-pit or mining methods), sites of common natural and man-made cavities and areas of possible formation of craters; to carry out experimental geophysical investigations on the territory of the Kryvyi Rih iron ore basin.

Design/methodology/approach. Experimental studies were carried out using audio-magneto-telluric sounding (AMTS) and resonance-acoustic profiling (RAP). AMTS works were done in the frequency range from 1 to 10 000 Gts with station MTU-5A Canadian company “Phoenix” on the profiles located above the estimated cavities and weak intervals (fractured

zones). Five components of the electromagnetic field (E_x , E_y , H_x , H_y , H_z) were recorded. The duration of a single-recording was 15 minutes. The RAP measurements were carried out by a hardware complex RAP-2008 at a sampling rate of 2000 Hz signal, the length of the recorded signal being 8,192 responses.

Findings. Anomalous zones associated with the presence of man-made cavities represented as long abandoned mine workings were discovered and mapped within the surveyed area on the landfill of waste disposal of building materials at the Kryvyi Rih Coke Plant. The places of potential craters above them were detected. Identification of the areas of possible crater formation was carried out with low resistance (1–10 Ohm·m) using AMTS method, and with morphology of the areas of high gradients of the frequency spectra for RAP-sections. Detection of prospective areas of underground cavities and the resulting decompressed zones was conducted with a high resistance of 200 to 1000 Ohm·m using AMTS method and with structural characteristics of the frequency spectrum and amplitude (RAP method). The results show that the mine workings had an intense impact on the environment, triggering “neotectonic” processes and changing the hydrodynamic conditions of the underground and ground water. These changes caused an intense differentiation of physical-mechanical properties of the geological environment and zones formation, weakness leading to drawdown in the projections to their surface.

Practical value/implications. The proposed technology permits to quickly detect and map the areas of crater formation and underground cavities of natural and anthropogenic origin within urban agglomerations. Recommendations should be given to urban development organizations on developing the area over exhaust underground workings and near large open pits.

Keywords: Kryvyi Rih basin, cavity, crater, audio-magneto-telluric sounding (AMTS), resonance-acoustic profiling (RAP).

References:

1. Bogoslovskiy V.A., Kuznetsov O.L., Khmelevskoi V.K. *Geofizicheskie metody v ekologii i ekologicheskom obrazovanii* [Geophysical methods in ecology and ecological education]. *Geofizika*, 1995, no. 5, pp. 48-53.
2. Vakhromeev G.S. *Ekologicheskaya geofizika* [Ecological geophysics]. Irkutsk, *IrGTU*, 1995, 216 p.
3. Pigulevskiy P.G., Svystun V.K., Slobodianiuk S.O., Tyapkin O.K. *Vykorystannia heofizychnykh metodiv pry vyrishenni zavadan tekhnohennoi bezpeky v mezhakh miskykh ahlomeratsii* [Use of geophysical methods at the decision of tasks of technogenic safety within the limits of urban agglomeration]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu*. 2001, issue 19, pp. 46-50.
4. Pigulevskiy P.G., Svystun V.K., Kyryliuk A.S. *O neobkhodimosti kompleksnykh issledovaniy geoekologicheskikh problem Krivorozhskogo zhelezorudnogo basseyna Ukrainy* [About necessity of complex researches of geoecological problems of Krivoi Rog ore basin of Ukraine]. *Obespechenie bezopasnosti v chrezvychnykh situatsiiakh. Materialy IX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Safety in extreme situations. Proceedings of the 9th International scientific-practical conference on 18 December 2013]. Voronezh, 2013, part 3, pp. 4-8.
5. Pigulevskiy P.I., Svystun V.K., Pakhomov S.P., Kiriliuk A.S. *O vozmozhnomykh geofizicheskikh metodov pri vyyavlenii pustot v massivakh gornykh porod (na primere Krivbassa)* [About opportunities of geophysical methods at revealing emptiness in the mining rocks (on an example Krivbassa): The scientific edition]. Voronezh, *FGBOU VPO “Voronezh state technical university”*, 2014, part 2, pp. 118-122.
6. Svystun V.K., Pigulevskii P.I., Tyapkin O.K. *K voprosu stanovleniya geofiziki tekhnogennoy bezopasnosti i sozdaniya tektonicheskoy osnovy dlya resheniya ee zadach* [To a question of formation of geophysics of technogenic safety and creation of tectonics basis for the decision of its tasks]. *Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu. Seriya: Heolohiia. Heohrafiia*, 2000, issue 3, pp. 24-30.
7. Tyapkin K.F. *Fizika Zemli* [Physics of the Earth]. Kyiv, *Vyshcha shkola*, 1998, 312 p.
8. Tyapkin O.K., Soldatenko V.P. *Primenenie gravirazvedki dlya otsenki geologo-ekologicheskikh posledstviy gornodobyvayushchey deyatel'nosti* [Application of gravimetry for the rating of geological-ecological consequences of mining activity]. *Geophysical Journal*, 2000, vol. 22, no. 1, pp. 21-30.
9. Shapar A.G., Tyapkin O.K. *Ekogeofizicheskie aspekty rayonirovaniya promyshlenno i tekhnogenno-nagruzhennykh regionov* [Ecological-geophysical aspects of zoning of industrially and techno-genic-loaded regions]. *Dopovidi NAN Ukrainy*, 1999, no. 3, pp. 133-137.
10. Doll W.E. How can environmental geophysics be advanced? *Geophysics: The leading edge of exploration*, 1994, vol. 13, issue 10, pp. 1035-1039.

Received 25/06/2015