

## ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОЕЛЕКТРИЧНИМИ МЕТОДАМИ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПІВДЕННО-ЗАХІДНОГО КРИВБАСУ. ЧАСТИНА 2. РЕЗУЛЬТАТИ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОЕЛЕКТРИЧНИХ МЕТОДІВ ПРИ ОБСТЕЖЕННІ ДІЛЯНОК ПІДТОПЛЕННЯ

П.Г. Пігулевський<sup>1,2</sup>, В.К. Свистун<sup>1</sup>, О.С. Кирилюк<sup>3</sup>

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

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

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

Проаналізовано можливості ефективного використання геоелектричних методів під час комплексного вивчення впливу техносфери на геологічне середовище Кривбасу для вирішення завдань екологічної безпеки. У другій частині статті наведено практичні приклади досліджень геоелектричними методами антропогенного впливу на геоекологічний стан міської агломерації в Кривбасі. За результатами комплексних геофізичних досліджень, що супроводжувалися геолого-гідрогеологічними спостереженнями та бурінням завіркових свердловин, отримано геолого-геофізичні розрізи та результативні карти зміни геоелектричних параметрів, які показують ступінь та інтенсивність водонасиченості горизонтів. Ці матеріали у сукупності з результатами попередніх досліджень дали змогу отримати карти та розрізи породних масивів, уточнити та конкретизувати деякі окремі особливості гідрогеологічного стану площі, яка досліджується, за чотирирічний період з 2008 по 2012 р.

**Ключові слова:** Криворізький басейн, електричні властивості, підтоплення, вертикальне електричне зондування (ВЕЗ) та природне поле (ПП).

**Особливості вивчення території з інтенсивним техногенним впливом.** Перед початком інтерпретації матеріалів вертикального електрондування (ВЕЗ) за гравітаційним і магнітним полями з урахуванням раніше пробурених свердловин [1, 2] було вивчено склад і структуру кристалічного фундаменту. Геолого-геофізичні дослідження показують, що він побудований породами різного петрографічного складу [3, 4] та розбитий численними тектонічними порушеннями, які розділяють його на окремі блоки. Поверхня фундаменту нерівна, що впливає на параметри перекривної товщі пухких порід, яка містить водоносні горизонти. Крім того, блоки мають тенденцію рухатися внаслідок безперервних глибинних процесів, що також відображається на будові перекривної товщі і, відповідно, стані водоносних горизонтів.

Західна частина площі досліджень знаходиться у сфері впливу трансрегіонального Криворізько-Кременчуцького глибинного розлому [3, 4]. У межах її північного і північно-західного кутів розміщуються фрагменти Криворізького синклінорію, який представлений південним замиканням Основної синкліналі та відрізком вузької Лихманівської синкліналі, складених породами Криворізької серії. Продовження зони цього розлому на південь та південний захід припадає на поля розвитку архейських гранітоїдів саксаганського комплексу.

За результатами аналізу і інтерпретації гравіметричних, магнітних та електрометричних спостережень у межах площі виявлено численні розривні тектонічні порушення різних спрямованості та геологічної природи.

Найбільш чітко тектонічні розривні порушення проявлені у центральній частині площі (перехідна зона від суто гранітоїдних товщ до гранітованих метабазитів), у гравітаційному полі над якими добре фіксуються численні зони підвищених горизонтальних градієнтів, які часто збігаються з аномальними та градієнтними зонами геоелектричного поля [3–5].

**Геолого-геоелектричні характеристики стратиграфічного розрізу.** За результатами інтерпретації досліджень, виконаних електророзвідувальними методами, отримано геоелектричні властивості стратиграфічного розрізу осадової товщі [3]. Шари гірських порід з різним електричним опором віднесено до водоносних або водотривких непроникних горизонтів. За показниками електричного опору визначено ступінь їх зволоження і розміщення в них зон підвищеної проникності. Крім того, за результатами параметричних ВЕЗ поблизу раніше пробурених свердловин [1, 2] зіставлено електричні й геологічні параметри, що дало змогу уточнити межі стратиграфічних горизонтів та їх потужності. Отримані контакти за даними якісної та кількісної

інтерпретації кривих ВЕЗ добре збігаються з геологічними межами літотипів порід (рис. 1–4).

Геоелектричний опір у розрізі змінюється як по вертикалі, так і з глибиною. В межах профілів встановлено субвертикальні зони підвищеної проникності і зони можливого зневоднювання порід, які характеризуються підвищеним уявним опором [4]. Слід також зазначити, що зміни у верхній частині геологічного середовища зафіксовано за змінами інтенсивності потенціальних  $V$  та градієнт-потенціальних  $\Delta V$  полів (рис. 1–4). Аномальні значення  $\Delta V$  та різкі перепади значень різниці потенціалів свідчать про наявність активної фільтрації як у вертикальному, так і горизонтальному напрямку. За результатами сумісної інтерпретації геолого-геофізичних матеріалів отримано модель будови верхньої частини стратиграфічного розрізу.

Розріз четвертинних відкладів починається з ґрунтово-рослинного пласта, який простежується до глибин від 0,4 до 1,1 м. Його опір змінюється в широких межах – від 20 до 160 Ом·м, знижуючись у балках до 6–18 Ом·м.

Другий пласт, представлений верхньонеоплейстоценовими жовто-бурими світлими лесоподібними суглинками, характеризується переважно ґрунтовими утвореннями та, ймовірно, належить до слабодиференційованого прилуцько-витацівського ґрунтового комплексу. Він простежується до глибин 1,7–2,2 м, а опір суглинків змінюється від 24 до 75 Ом·м, знижуючись у балці Широкій (профіль 11, рис. 2) до 6–14 Ом·м.

Третій пласт – лесовий горизонт середньонеоплейстоценових відкладів, можливо, дніпровського кліматоліту, складений світло-жовтими лесоподібними суглинками, легкими, пілуватими, карбонатними, простежується до глибин 2,8–3,5 м, має опір від 20 до 50, іноді до 140–300, а іноді до 5–10 Ом·м.

Четвертий і п'ятий пласти – ґрунтові горизонти середньонеоплейстоценових відкладів, швидше за все належать до завадівського кліматоліту або до лубенсько-завадівського ґрунтового комплексу, представленого сукупністю декількох похованих ґрунтів, іноді з пропластком лесоподібного суглинку.

Суглинки четвертого пласта середні і важкі, коричнево-бурі, лесоподібні, тріщинуваті, карбонатні, з включеннями дрібнокристалічного гіпсу. Цей пласт простежується до глибин 4–5,5 м, іноді за опором розділений на два горизонти. Верхній контакт знаходиться на глибині 4,5 м, нижній – на глибині 5,5 м. Як правило, з глибиною опір підвищується. Опір суглинків змінюється від 7–8 до 30, іноді до 45 Ом·м.

П'ятий пласт – горизонт похованих ґрунтів. Суглинки темно-бурі, ділянками сірувато-бурі, лесоподібні, нерівномірно гумусовані, сильно неоднорідні за складом, з включеннями та гніздами

жовто-бурого та світло-жовтого суглинку, місцями пухкими, легкими. Їх нижній контакт залягає на глибинах від 6 до 6,5 м. Електричний опір змінюється від 2–4 до 10–20 Ом·м, в окремих випадках збільшуючись до 80–90 Ом·м.

Шостий пласт – нижньонеоплейстоценові відклади у вигляді лесового горизонту, ймовірно, сульського кліматоліту, представлені світло-жовтими суглинками, сіруватими, неоднорідними за складом, з включеннями та легко обводненими пропластками сірувато-бурого суглинку, карбонатні. Їх нижній контакт знаходиться в інтервалі глибин від 7 до 9,5 м. Опір змінюється від 4–5 до 40–65 Ом·м, іноді підвищується до 270–300 Ом·м.

Сьомий пласт завершує розріз четвертинних відкладів. Це водотривкі слабодиференційовані ґрунтові горизонти еоплейстоцену–нижнього неоплейстоцену (берегівсько-крижанівського та широкинсько-мартоносського ґрунтових комплексів). Суглинки коричнево-бурі, червоно-бурі важкі, іноді до глин, рідко записочені. У покрівлі пласта вони неоднорідні за кольором і складом, іноді сіруваті, з включеннями світло-жовтого суглинку, карбонатні, з включеннями борошністих карбонатів, з нальотами мангану, із скупченням кристалів гіпсу, тверді, щільні. Нижній контакт горизонту знаходиться на глибинах 9–11, іноді 12 м, електричний опір змінюється від 2 до 12 Ом·м.

Восьмий пласт простежується до глибин 13–19 м. Має неоднорідний електричний опір, який змінюється від 6–8 до 260–330 Ом·м. Цей пласт контактує з верхньою частиною горизонту червоно-бурих глин верхнього пліоцену і представлений щільними, твердими червоно-бурими записоченими або піщанистими глинами.

Дев'ятий пласт – водотривкий горизонт червоно-бурих глин верхнього пліоцену. Нижній контакт горизонту знаходиться на глибинах 25–38 м. Електричний опір змінюється від 2 до 9 Ом·м, збільшуючись в бік долини р. Інгулець до 15–20, іноді до 135–250 Ом·м, де горизонт представлений сухими записоченими або піщанистими глинами.

Десятий пласт простежується на профілі 11 до глибин 30–32 м. Тут він підстеляє горизонт червоно-бурих глин, нижній контакт яких залягає на глибині 25 м. На профілі 13 нижній контакт цього горизонту на кривих ВЕЗ не проявляється. Породи представлені нижньопліоценовими алювіальними цегляно-червоними пісками з пропластками мулистих глин. Електричний опір порід змінюється від 15 до 195 Ом·м. Породи пласта поширені локально у вигляді смуги, яка простягається вздовж долини р. Інгулець.

Одинадцятий пласт простежується до глибин 34–40 м, утворений сірими, зеленувато-сірими, іноді піщанистими глинами, понтичного регіоарусу нижнього міоцену, часто з включеннями обкатаних та напівобкатаних зерен і уламків вапняку або з

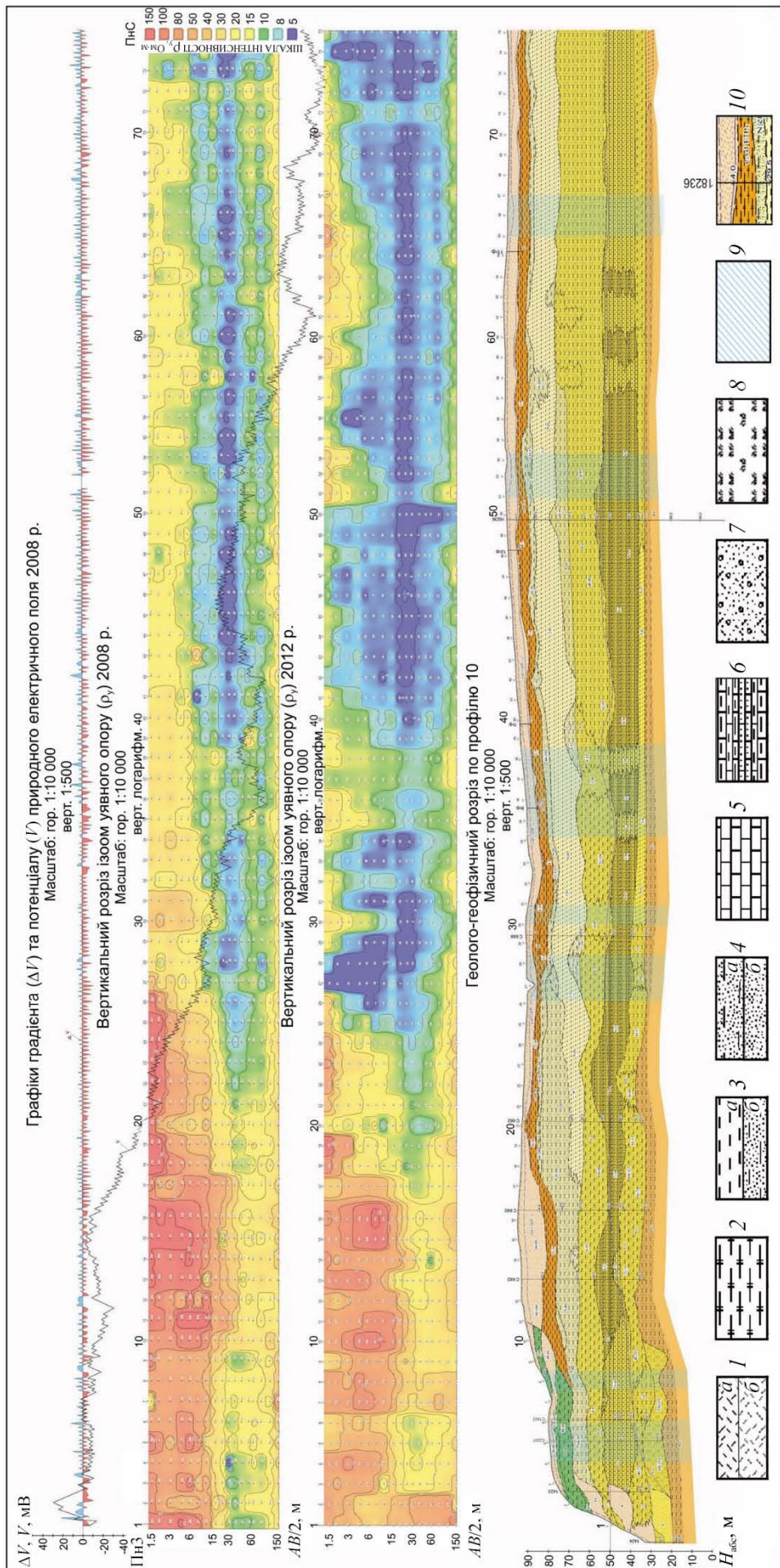
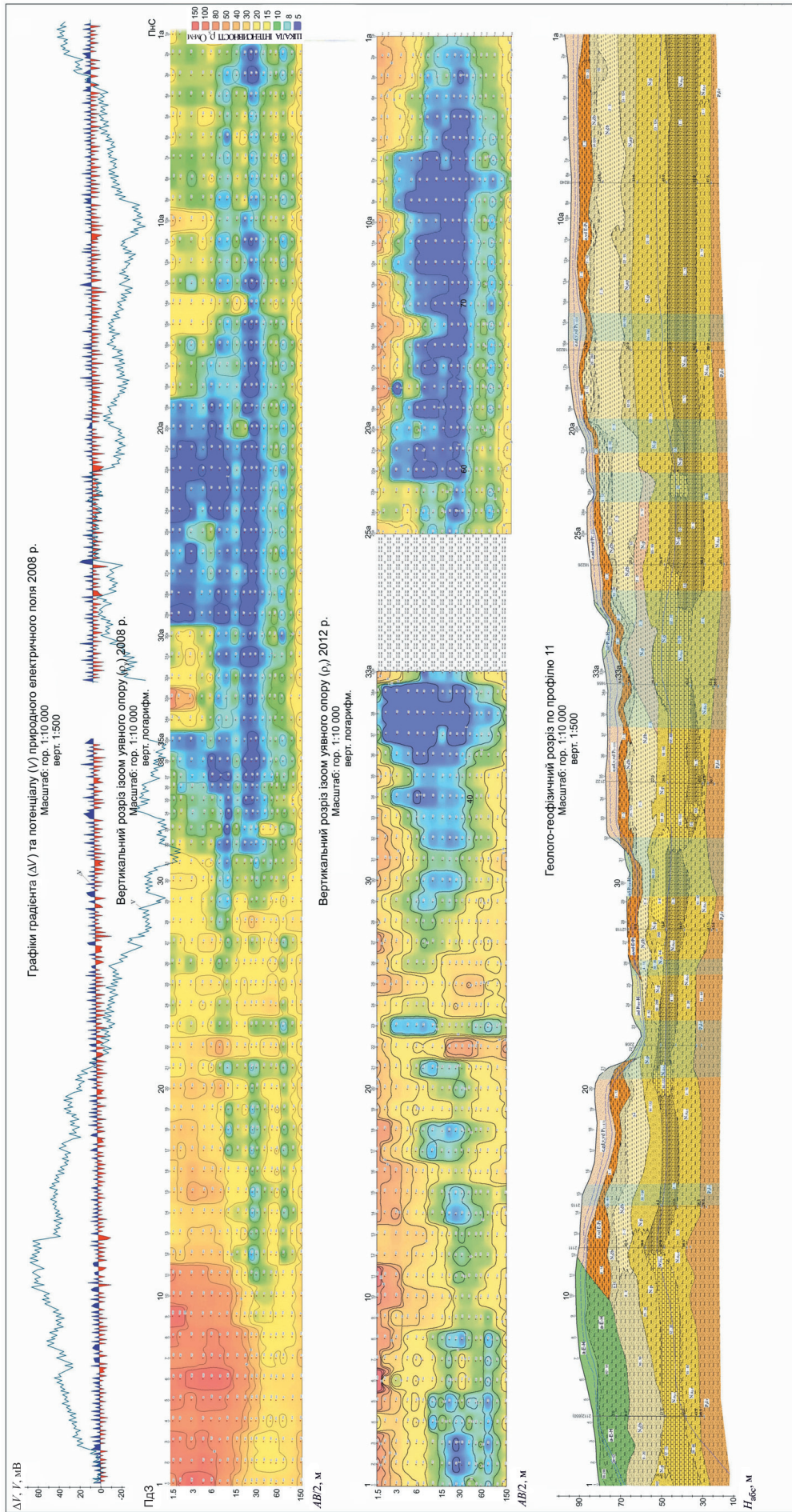


Рис. 1. Результати вертикальних електричних зондувань на профілі 10 у 2008 та 2012 рр.: 1 – ґрунтово-рослинний шар (а), суґлинки (б); 2 – важкі суґлинки; 3 – глини (а), глини піщанисті (б); 4 – пісок глинистий (а), пісок (б); 6 – вапняк міцний; 7 – вапняк пухкий, мергелистий, закарстований; 8 – кора вивітрювання кристалічних порід; 9 – заболочена ділянка; 10 – зони підвищеної тріщинуватості, розущільнення, що передбачаються за геофізичними даними; показано бурові свердловини та їх номери  
 Fig. 1. The results of the vertical electrical sounding on profile 10<sup>th</sup> in 2008 and 2012: 1 – soil-vegetation layer (a), loam (б); 2 – heavy loam; 3 – clay (a), sandy clay (б); 4 – clayey sand (a), sand (б); 6 – strong limestone; 7 – loose limestone; 8 – weathering crust of crystalline rocks; 9 – wetland; 10 – increased fracture zone, decompression, provided for by geophysical data shows the drilling borehole and its number



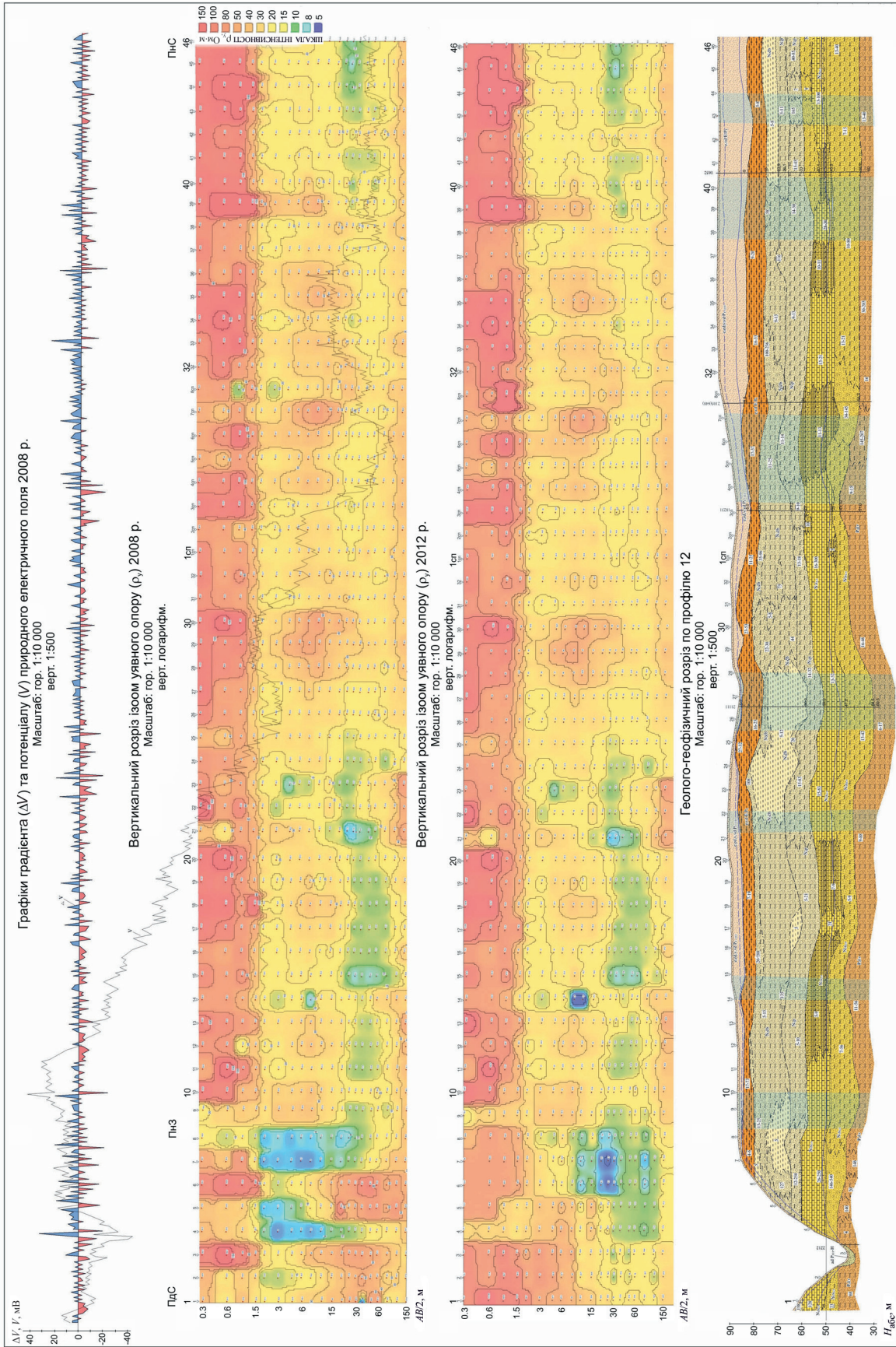


Рис. 3. Результати вертикальних електричних зондувань на профілі 12 у 2008 та 2012 рр. Умовні позначення див. на рис. 1

Fig. 3. The results of the vertical electrical soundings on profile 12<sup>th</sup> in 2008 and 2012. Symbols see fig. 1

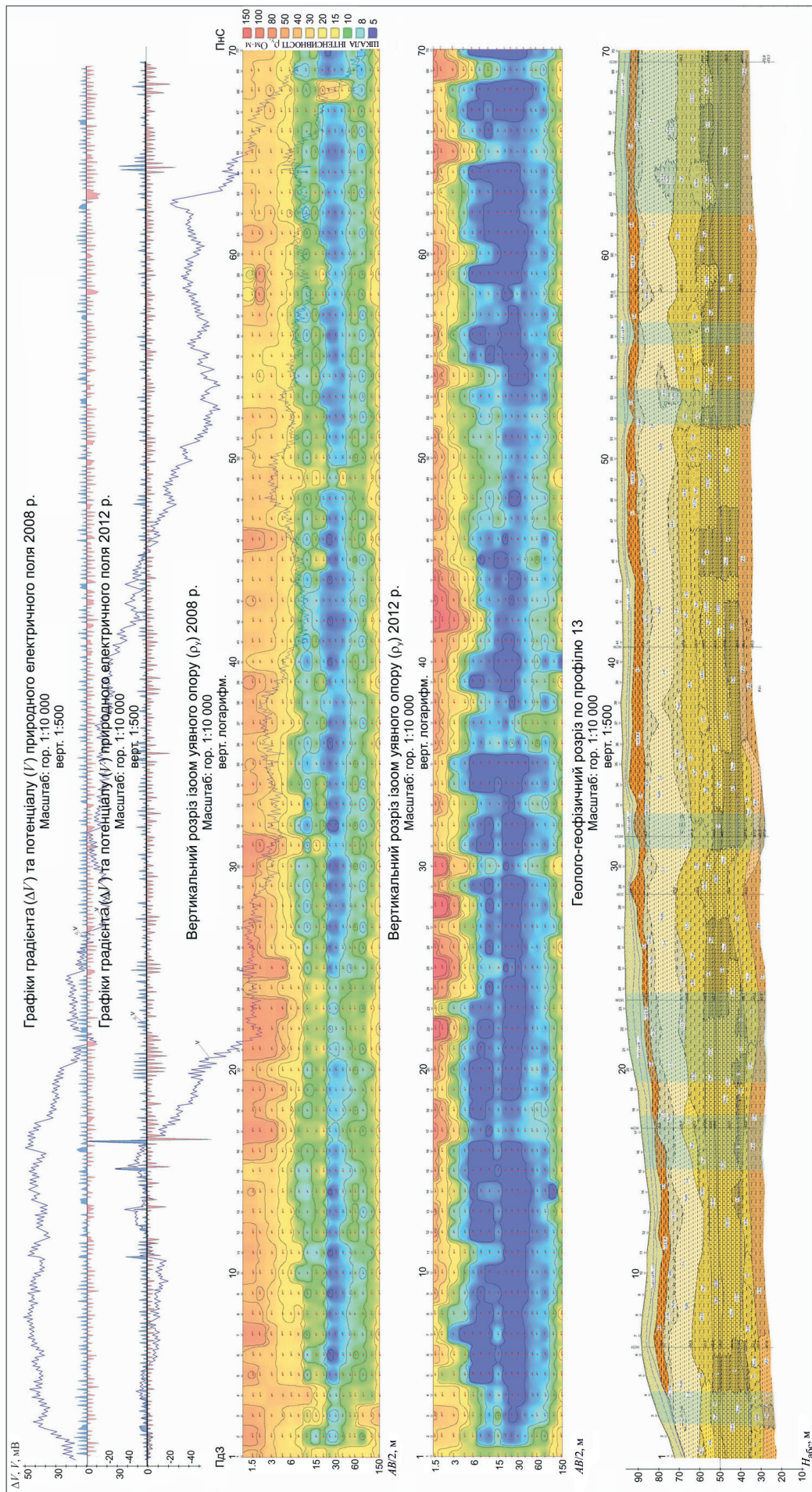


Рис. 4. Результати вертикальних електричних зондувань на профілі 13 у 2008 та 2012 рр. Умовні позначення див. на рис. 1  
 Fig. 4. The results of the vertical electrical soundings on profile 13<sup>th</sup> in 2008 and 2012. Symbols see fig. 1

гніздами та прошарками вапняку опором від 3–7 до 15–30, іноді до 85 Ом·м.

Дванадцятий пласт поширюється до глибини 48–55 м, об'єднує піски зеленувато-сірі, дрібнозернисті, сильно глинисті, черепашково-оолітові вапняки понтичного регіоарусу нижнього міоцену та вапняки сарматського регіоарусу, неоднорідні за фізичними властивостями, ділянками пухкі або міцні, тріщинуваті, іноді мергелісті, а іноді закарстовані з різним електричним опором – від низького 3–7 до високого 50–110 Ом·м.

Тринадцятий пласт простежується до глибини 80 м, характеризується низьким електричним опором від 3 до 8, іноді 12–18 (27) Ом·м. До його верхньої частини примикає нижній обводнений пласт глинистих дрібнозернистих або нерівномірно-зернистих пісків сарматського водоносного горизонту, який часто не відрізняється за електричним опором від водотривких зеленувато-сірих алевритистих глин кийського ярусу палеоцену, що підстеляють цей горизонт. Іноді він включає малопотужну яблучно-зелену піщано-глинисту породу або перешарування темно-зелених глин і кварц-глауконітових сірувато-зелених дрібнозернистих глинистих пісків борисфенського ярусу середнього еоцену.

Аналіз гідрогеологічних матеріалів [2] свідчить, що водоносний горизонт у четвертинних відкладах має площове поширення, за винятком окремих ділянок як природного (вздовж річок і великих балок), так і техногенного (відвали, кар'єри, хвостосховища) походження.

З урахуванням результатів геофізичних досліджень ґрунти розподілено за площею на сухі, вологі та водонасичені.

**Водоносні та слабоводоносні горизонти.** За літологічним складом, водонасиченістю, ступенем водопроникності, генезисом, геоморфологічними особливостями поширення та гіпсометричним положенням виділено чотири водоносні та слабоводоносні горизонти:

– водоносний горизонт в алювіальних нерозчленованих відкладах заплав і надзаплавних терас (аЕ – Н) простежується тільки в межах заплав та призаплавних ділянок р. Інгулець;

– слабоводоносний горизонт – в алювіально-делювіальних відкладах дна балок верхнього неоплейстоцену–голоцену (адР–Н);

– слабоводоносний горизонт – в озерно-еолово-делювіальних відкладах подових понижень верхнього неоплейстоцену (е, vdР);

– водоносний горизонт – в елювіальних, елювіально-делювіальних, еолових та еолово-делювіальних нерозчленованих відкладах вододільних плато неоплейстоцену (е, ed, v, vd, Р).

Два останні водоносні горизонти найбільш поширені на досліджуваній території.

Площа вододільних плато разом з подовими утвореннями становить 44 % усієї території вивчення.

В межах долини р. Інгулець та в нижніх частинах балок понт-сарматський водоносний горизонт зазнає значного впливу цієї річки.

У вертикальному розрізі перший від поверхні водоносний горизонт складається з кількох різновікових утворень, які різняться складом, фізико-механічними властивостями та кольором.

**Рівень залягання першого від поверхні водоносного горизонту.** При встановленні його рівня було використано дані свердловин, колодязів, ВЕЗ, ПП і біолокації (рис. 5), що дало змогу виявити фільтраційні потоки та їх розподіл по площі, інтенсивність і напрямок. Висока концентрація техногенного підтоплення ділянок у південно-західній частині дослідженої площі свідчить про значний вплив напірних вод, розміщених вище шламонакопичувачів ЦГЗК і ПГЗК, у підосві яких за даними гравірозвідки відбуваються сучасні незгасаючі тектонічні перетворення. Значна зрізаність кривих градієнтів ПП (див. рис. 1–4) свідчить про наявність підтоплення як природними, так і техногенними водами з різних джерел їх формування.

Як показано на рис. 5, виділені зони підвищеної фільтрації розміщуються паралельно простяганням Криворізько-Кременчуцького глибинного розлому. Таке положення зон свідчить про наявність конкордантних до нього зон стискання та розтягання кристалічного фундаменту, що приводить до утворення зон розушільнення у перекривному осадовому чохла.

Отримані результати досліджень добре узгоджуються зі стаціонарними геодинамічними спостереженнями неотектонічних рухів під керівництвом О.І. Денісова, Р.Я. Самарського, А.Г. Бондарука [1]. Було встановлено, що ширина зони Криворізько-Кременчуцького глибинного розлому на півдні Кривбасу сягає 10, на півночі – 20 км. Найактивнішими є периферійні частини зони (порівняно з центральною), а загальна швидкість вертикальних рухів у її межах варіює від 2 до 3 мм/рік [1]. При цьому в західному напрямку (Інгулецький вал, Західноінгулецька структура) швидкість вертикальних рухів збільшується з півдня на північ, тоді як на схід від Криворізької структури ця тенденція має зворотний характер, тобто швидкість цих рухів збільшується у південному напрямку. Крім того, швидкість рухів за межами зони розлому трохи вища, ніж у її межах, і досягає 3,8 мм/рік. За відносним зануренням блоків зафіксовано також горизонтальні рухи, що впливає на розподіл глибин залягання рівня першого від поверхні водоносного горизонту, особливості фільтраційних потоків і їх розподіл за площею.

Як зображено на рис. 5, за простяганням занурена поверхня рівня першого водоносного горизонту у східній частині площі чітко збігається із субмеридіональною зоною підвищеної фільтрації. В її межах рівень води опущено на глибини до 5–7 м. При цьому перепад водної поверхні становить від

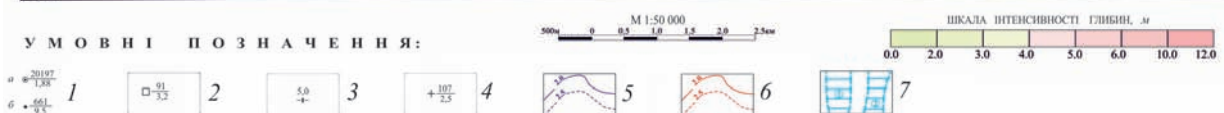
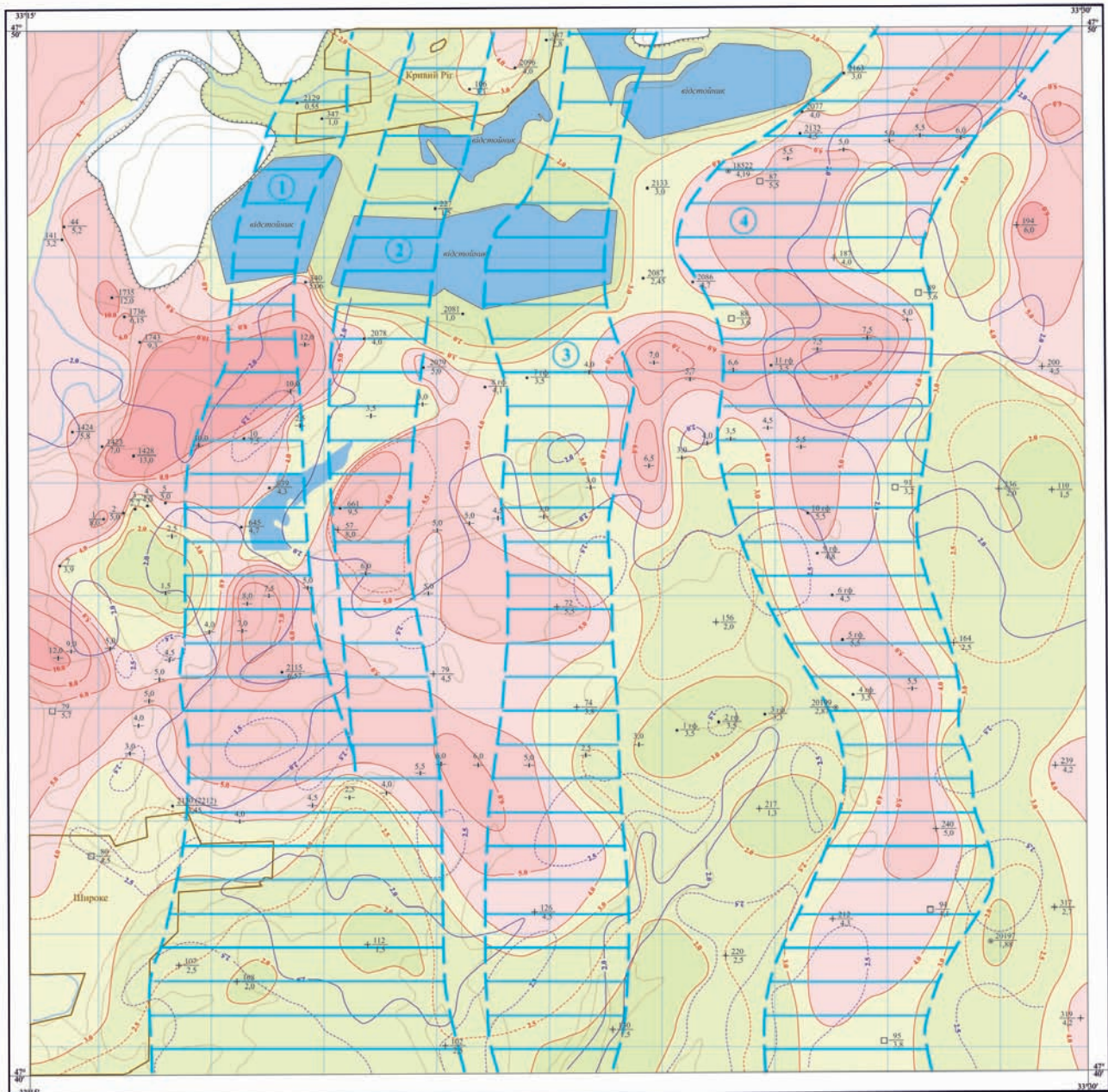


Рис. 5. Карта глибин рівнів (у метрах) першого від поверхні водоносного горизонту, 2012 р.: 1 – свердловини, в яких визначали рівні підземних вод (а – стаціонарні, б – періодичного спостереження), над рискою – номер свердловини, під рискою – глибина до рівня підземних вод; 2 – колодязь: над рискою – його номер, під рискою – глибина до рівня води; 3 – рівень води за результатами інтерпретації ВЕЗ на профілях; 4 – рівень води за результатами інтерпретації мережових ВЕЗ: над рискою – номер точки ВЕЗ, під рискою – глибина до рівня води; 5 – гідроізогіпси глибин рівня капілярних (порових) вод за даними біолокації; 6 – гідроізогіпси глибин рівня підземних вод першого від поверхні водоносною горизонту (за даними свердловин, ВЕЗ, колодязів); 7 – зони підвищеної фільтрації, виявлені за результатами ВЕЗ, ПП та біолокації

Fig. 5. Map of depths from the surface level of the first aquifer (2012): 1 – wells, which were determined by the level of ground water (a – fixed, b – periodic follow-up), over the line – the number of the well, below the line – the depth to ground water levels; 2 – well: over the line – the number of the well, below the line – the depth to the water level; 3 – the water level as a result of the interpretation of vertical electrical sounding on the profiles; 4 – the water level as a result of the interpretation of vertical electrical sounding network; over the line – the number of points of vertical electrical sounding, below the line – the depth to water level; 5 – level depth hydroisohypses capillary (pore) water according to dowsing; 6 – hydroisohypses depths of ground water level from the first surface of the aquifer (as well data, vertical electrical sounding, drow-wells); 7 – increased filtration area, identified by the results of the vertical electrical sounding, natural fields and dowsing

2 до 4 м. У центральній та північно-західній частинах площі досліджень занурення рівня першого від поверхні водоносного горизонту ускладнено дією

молодших Високопільської та Конкської систем розломів, які зумовили “клавійний” тип взаєморозміщення блоків високих порядків, що і впливає



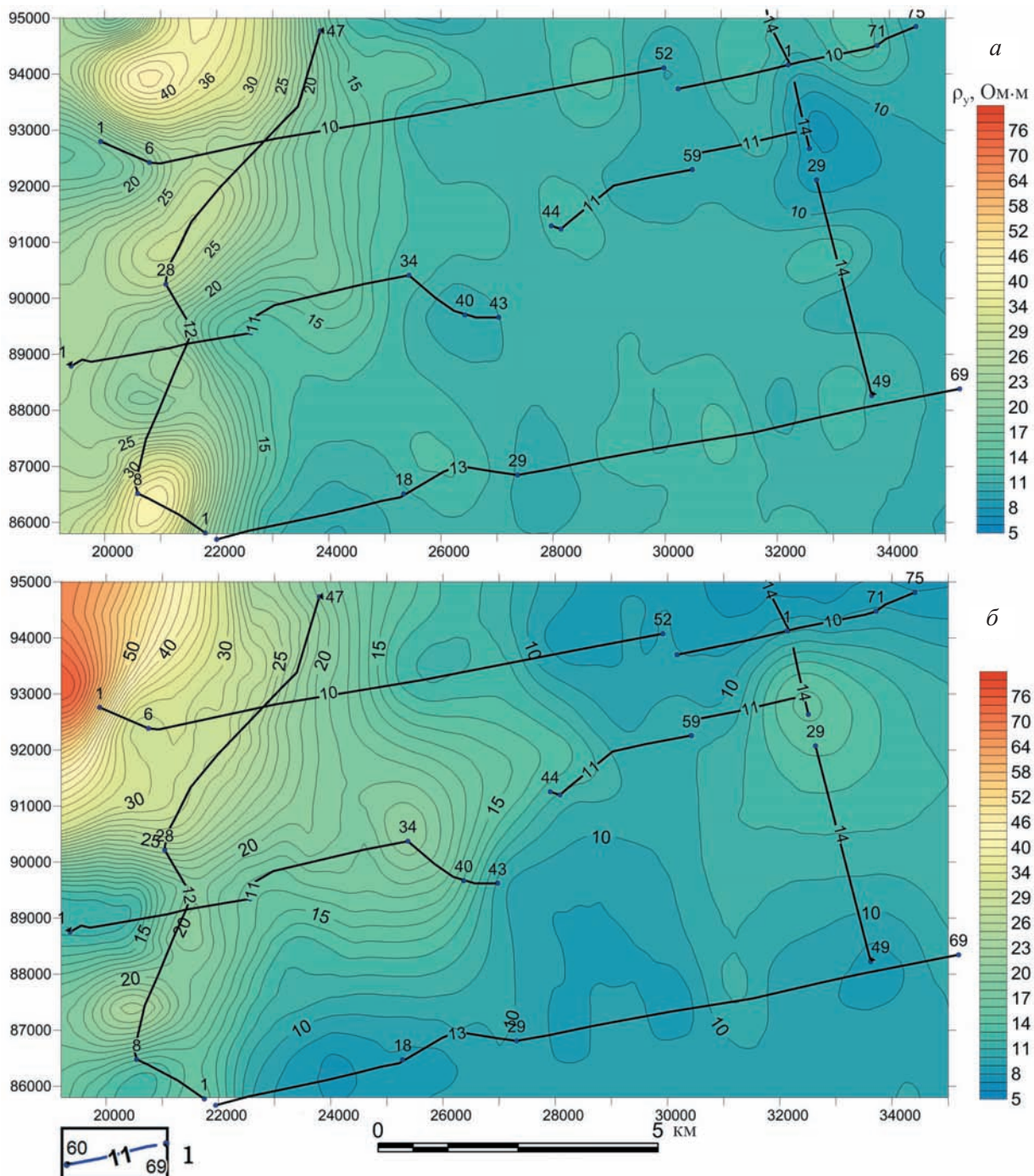


Рис. 6. Карты значений уявного опоры для разностей  $AB = 20$  м у 2008 (а) та 2012 рр. (б): 1 – профіль ВЕЗ та його номер, номери кінцевих точок ВЕЗ

Fig. 6. Maps of apparent resistivity values for spacing  $AB = 20$  m in 2008 (a) and 2012 years (b): 1 – vertical profiles electrical sounding and its numbers, numbers of endpoints of vertical electrical sounding

на рівень стояння води. Крім того, позначаються висока концентрація техногенного підтоплення ділянок від шламонакопичувачів ПГЗК та активне карстоутворення в західній частині дослідженої площі.

Активний обмін техногенних вод у південно-західній частині промислової зони Кривбасу спричиняє розвиток карстових процесів, які, в свою чергу, призводять до додаткових змін рівня поверхні першого водоносного горизонту, крім уже виявлених основних напрямків фільтрації. Потіки техно-

генних вод також істотно впливають на фільтраційні властивості лесоподібних суглинків верхньої частини розрізу, підсилюють їх і сприяють формуванню нових зон активної фільтрації. У зв'язку з наявністю мозаїчних зон розвантаження ґрунтових вод у кристалічній породі та карсти суцільна зона підтоплення відсутня. Втім ці процеси створюють гідравлічний зв'язок з тріщинними водами, внаслідок чого формуються ділянки активної вертикальної фільтрації з вимиванням сипких матеріалів і активізацією провальньо-просадкових явищ.

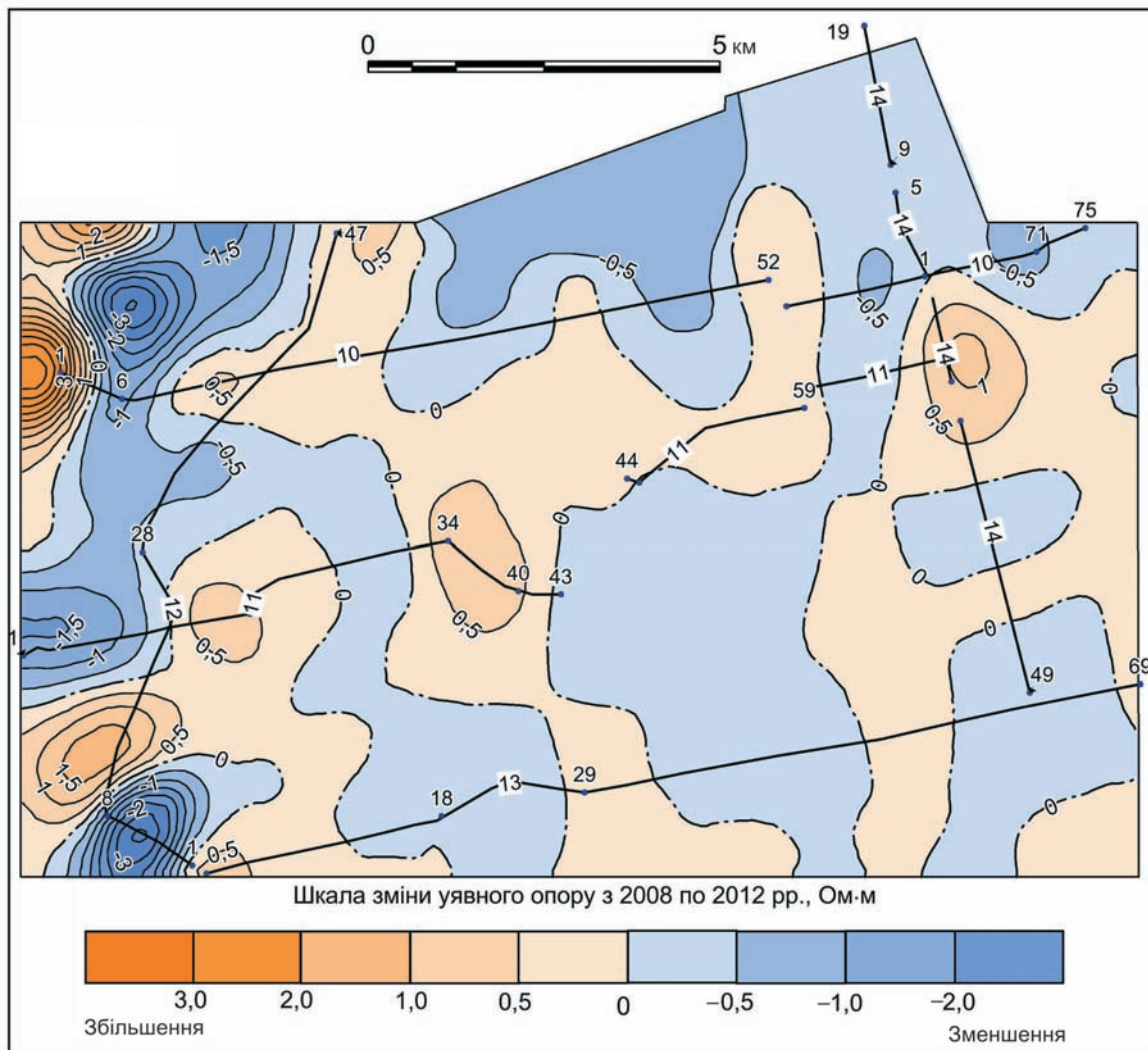


Рис. 7. Карта різниці значень уявного опору для розносів  $AB = 20$  м у 2012 та 2008 рр. Умовні позначення див. на рис. 6

Fig. 7. Maps of the difference between the apparent resistivity values for spacing  $AB = 20$  m in 2008 and 2012 years: 1 – vertical profiles electrical sounding and their numbers, numbers of endpoints of vertical electrical sounding

**Рівень капілярного зволоження.** На рис. 5 наведено ізолінії глибин залягання поверхні капілярного зволоження [4–6]. Вона розміщується вище рівня ґрунтових вод і, на думку авторів, характеризує глибину поверхневого випаровування. Рівень капілярного зволоження знаходиться в зоні аерації – зоні активного водо- і парообміну під впливом літніх спек та атмосферних опадів.

Зіставлення глибин капілярного зволоження з результатами ВЕЗ на профілях показало їх велику подібність, але спостерігається і певна розбіжність, яка пов'язана з конкретними природними умовами: наявністю рослинного покриву, нахилу земної поверхні, ступенем зволоження або висушення і т. п. Разом з тим дані, що отримані електрометричними спостереженнями і біолокаційним методом, надають важливу інформацію для вирішення сільськогосподарських завдань щодо контролю зволоження та глибини випаровування.

**Гідрогеодинамічні особливості перебігу процесу підтоплення.** На профілях 10–12 та 13 у 2012 р.

було проведено повторні моніторингові спостереження тією самою апаратурою і за тією ж методикою досліджень (рис. 1–5). Результати досліджень досить чітко показали великі зміни у підземному геологічному середовищі, особливо стосовно понтсарматського водоносного горизонту.

На рис. 1–4 добре проглядається зміна геоелектричного опору в розрізі за проміжок часу з 2008 по 2012 р. (за 4 роки). На розрізах повторних спостережень відмічається збільшення зволоження мінералізованими водами. За цей час геоелектричний опір майже на всьому розрізі осадового чохла знизився, що вказує на перебіг сучасних гідрогеологічних процесів у напрямку зволоження майже всіх горизонтів. Електричний опір суттєво зменшується, при цьому ці зміни зафіксовано у пластах, які розміщуються вище і нижче один одного. Отримані дані свідчать про наявність вертикальних зон, у межах яких або відбувається посилена фільтрація в обох напрямках, або вона значно послаблена. Субвертикальні зони підвищеної проникності і

зони можливого зневоднювання порід збігаються із стратиграфічними горизонтами [4]. Саме ці зони можуть контролюватися розривними тектонічними порушеннями різного ступеня проникності. Найбільш чіткі зони вертикальної фільтрації, що відображені на кривих  $V$  та  $\Delta V$  показано на розрізах (див. рис. 1–4).

Чіткі зони підвищених горизонтальних градієнтів, які збігаються з широкими зонами деформацій природного поля (ПП), або з різкими змінами уявного опору, визначено як зони підвищеної проникності (ЗПП). Їх розміщення показано на рис. 1–5.

Крім геоелектричних розрізів за профілями регіональних спостережень 10–14 було побудовано карти значень уявного опору для розносів різної довжини за допомогою програмного пакета “Surfer”. На першому етапі нерегулярні (профільні) дослідження були приведені до сітки  $200 \times 200$  м, з подальшим згладжуванням за палеткою  $1000 \times 1000$  м. Отримані карти показали зміну значень опору за проміжок часу з 2008 по 2012 р. на різних рівнях в осадовому чохла. Значення уявного опору для розносів  $AB = 20$  м у 2008 (рис. 6, а) та 2012 рр. (рис. 6, б) різняться. За цей проміжок часу геоелектричний опір майже на всій площі змінився, що вказує на перебіг сучасних гідрогеологічних процесів у геологічному середовищі.

На другому етапі за допомогою програмного пакета Map Info було побудовано карту різниці зміни уявного опору за проміжок часу в 4 роки (рис. 7).

Отримані дані свідчать про наявність мозаїчних зон розвантаження ґрунтових вод і подальше карстоутворення. На рис. 7 показано, що суцільна зона підтоплення відсутня, за винятком західної частини площі, де сучасні процеси призводять до вимивання сипких матеріалів з активізацією провальнопросадкових явищ.

Отже, найбільший рівень (швидкість) підтоплення з негативними техногенними явищами спостерігається у західній частині площі (рис. 7) у вигляді провалів, зсувів, активізації карстових процесів, місцевих підтоплень (села Новоселівка, Інгупець, північна частина сел. Широке), де попередніми комплексними геофізичними дослідженнями було виявлено численні пустоти карстового й техногенного походження [4]. Зафіксовано також підвищену фільтрацію води на південь від Мироліувського водосховища в балці Свистунова.

**Висновки.** Проведений комплекс геофізичних досліджень інженерно-геологічного стану південно-західної частини Кривбасу дав змогу виявити основні риси її будови та окреслити певні перспективи розвитку сучасних інженерно-геологічних і гідрогеологічних процесів: установити місця тектонічних порушень і зон підвищеної проникності (вони відображають розривну тектоніку кристалічного фундаменту); виявити зони вертикальної глибинної фільтрації регіонального характеру. Отриманий

діапазон змін електричного опору вказує на певний літологічний тип або фізичний стан порід. Отже, в комплексі з геологічними та гідрогеологічними даними можна визначити глибини першого від поверхні водоносного горизонту, а також положення глибших горизонтів для побудови коректних геологічних розрізів четвертинної і неогенової товщ розуцільнених порід.

За результатами геофізичних досліджень проведено класифікацію розподілу ґрунтів за площею на сухі, вологі та водонасичені і зроблено висновок, що активний обмін техногенних вод у південно-західній частині промислової зони Кривбасу зумовлює розвиток карстових процесів, які, в свою чергу, спричиняють додаткові зміни рівня поверхні першого водоносного горизонту, крім виявлених основних напрямків фільтрації.

Згідно з результатами проведених досліджень, понт-сарматський водоносний горизонт характеризується великою гідрогеологічною активністю і здатністю зволожувати водотривкі пласти.

1. *Государственная* геологическая карта Украины. Масштаб 1:50 000. Криворожский горнорудный район. Криворожская группа листов (М-36-139-Б,Г; М-36-140-А,В; L-36-7-Б; L-36-8-А) / И.С. Паранько, В.К. Бутырин, Г.Е. Змеевский [и др.]. – К.: Геоинформ, 1992. – 220 с.
2. *Захаров В.В.* Державна геологічна карта України, масштаб 1:200 000. Серія Центральноросійська, аркуші: М-36-XXXIV (Жовті Води), L-36-IV (Кривий Ріг). Пояснювальна записка / В.В. Захаров, А.В. Мартинюк, Ю.Н. Токар. – К.: Геоінформ, 2002. – 101 с.
3. *Пігулевський П.Г.* Дослідження геоелектричними методами інженерно-геологічного стану Південно-Західного Кривбасу. Частина 1. Фізико-геологічні передумови досліджень / П.Г. Пігулевський, В.К. Свистун, О.С. Кирилюк // Геоінформатика. – 2016. – № 3 (59). – С. 69–75.
4. *Свистун В. К.* Використання геофізичних методів при вирішенні геоелектричних проблем Кривбасу: дис. .... канд. геол. наук: 04.00.22. – Дніпропетровськ, ДНУВЗ Нац. гірн. ун-т, 2016. – 182 с.
5. *Свистун В.К.* Вивчення негативних геоелектричних явищ південно-західної частині Кривбасу геофізичними методами / В.К. Свистун, Л.Й. Золотарьова, П.Г. Пігулевський, О.С. Кирилюк // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – 2015. – № 49. – С. 16–23.
6. *Пігулевський П.Г.* Вивчення сучасного підтоплення південно-західної частини Кривбасу геофізичними методами [Електронний ресурс] / П.Г. Пігулевський, В.К. Свистун, С.О. Слободянюк, О.С. Кирилюк // XV Міжнародн. конф. “Геонформатика: теоретическіе и прикладные аспекты”, Київ, 10–13 мая 2016 г.: [тез. докл.]. – К.: ВАГ, 2016. – Тезисы № 9751. – 6 с. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM). – DOI: 10.3997/2214-4609.201600477. – Режим доступа: <http://earthdoc.eage.org/publication/publicationdetails/?publication=84578> (дата обращения: 10.08.2016).

Надійшла до редакції 10.08.2016 р.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЮГО-ЗАПАДНОГО КРИВБАСА. ЧАСТЬ 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ УЧАСТКОВ ПОДТОПЛЕНИЯ

П.И. Пигулевский<sup>1,2</sup>, В.К. Свистун<sup>1</sup>, А.С. Кирилюк<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Днепропетровская геофизическая экспедиция "Днепрогеофизика" ГПП "Укргеофизика", ул. Геофизическая, 1, г. Днепропетровск, 49057, Украина, e-mail: dpge@ukr.net

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

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

Анализируются возможности эффективного использования геоэлектрических методов с целью комплексного изучения влияния техносферы на геологическую среду Криворожского железорудного бассейна (Кривбасса) при решении задач экологической безопасности. Во второй части статьи приведены практические примеры исследований геоэлектрическими методами антропогенного влияния на геоэкологическое состояние городской агломерации в Кривбассе. По результатам комплексных геофизических исследований, которые сопровождались геолого-гидрогеологическими наблюдениями и бурением заверочных скважин, построены геофизические разрезы и результивные карты изменения геоэлектрических параметров, показывающие степень и интенсивность водонасыщенности горизонтов. Эти материалы в совокупности с результатами предыдущих исследований позволили получить карты и разрезы породных массивов, уточнить и конкретизировать отдельные особенности гидрогеологического состояния исследуемой площади за четырехлетний период с 2008 по 2012 г.

**Ключевые слова:** Криворожский бассейн, электрические свойства, подтопление, вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ), естественное поле (ЕП).

## GEOELECTRIC STUDY OF ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITION OF SOUTH-WESTERN KRYVBAS. PART 2. THE APPLICATION RESULTS OF GEOELECTRIC METHODS IN THE SURVEY OF FLOODING AREAS

P.I. Pigulevskiy<sup>1,2</sup>, V.K. Svystun<sup>1</sup>, O.S. Kyryliuk<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dnepropetrovsk geophysical expedition "Dneprogeofizika" SGE "Ukrgeofizika", 1, Geophysical Str., Dnepropetrovsk, 49057, Ukraine, e-mail: dpge@ukr.net

<sup>2</sup>Institute of Geophysics, NAS of Ukraine, 32, Palladin Ave., Kyiv, 03680, Ukraine, e-mail: pigulev@ua.fm

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

The **purpose** of the paper is to conduct geophysical surveys to study engineering-geological conditions of the south-western part of Kryvbas in solving ecological safety problems.

**Method.** Analysis of the available petrophysical, engineering and hydrogeological information of the sedimentary cover rocks of the south-western part of Kryvbas. Selection of optimal parameters for the vertical electrical sounding (VES). Implementation of field research with the VES method of the natural electric field; and of the method of qualitative and quantitative interpretation to determine the changes of geoelectric parameters of the rock mass, associated with the space-time changes in the hydrogeological conditions of the geological environment of the four-year period from 2008 till 2012.

**Results.** We have done geological and geophysical sections based on the results of qualitative and quantitative interpretation of VES of natural electric field, which provide additional information about the structure and parameters of the aquifer system of the Neogene-Quaternary sediments. Based on these materials, together with the results of the previous studies, we have obtained maps which clarify and specify the features of the hydrogeological condition of the studied area in three-dimensional performance, and for a four-year period from 2008 till 2012. In determining groundwater levels from the first surface of the aquifer according to VES, NEF and dowsing we identified filtration flows and their distribution over the area, as well as intensity and direction. The reliability of the geophysical investigations was proved by definition drilling, the information from the restricted network of the wells, and water level measurements in the wells.

**The practical significance and conclusions.** The suggested technology of research allows quick detection and mapping of the zones of flooding by geoelectrical methods for a complex study of the effect of the techno sphere on the geological environment of Kryvbas in solving problems of ecological safety.

**Keywords:** Krivoy Rog basin, electrical properties, flooding, vertical electrical sounding (VES), natural electric field.

## References:

1. Paran'ko, I.S., Butyrin, V.K., Zmeevskij, G.E. Gosudarstvennaja geologicheskaja karta Ukrainy. Masshtab 1:50 000. Krivorozhskij gornorudnyj rajon. Krivorozhskaja gruppa listov (M-36-139-B,G; M-36-140-A,V; L-36-7-B; L-36-8-A). Kiev, Geoinform, 1992, 220 p.(in Russian).
2. Zaharov V.V., Martynyuk, A.V., Tokar, Yu.N. Derzhavna geologichna karta Ukrai'ny, masshtab 1:200 000. Serija Central'noukrai'ns'ka, arkushi: M-36-XXXIV (Zhovti Vody), L-36-IV Kryvyj Rig). Kyiv, Geoinform, 2002, 101 p. (in Ukrainian).
3. Pigulevskiy, P.I., Svystun, V.K., Kyrlyuk, O.S. Geoelectric study of engineering-geological condition of southwestern Kryvbas. Part 1: Physical and geological background. *Geoinformatika*, 2016, no. 3, pp. 69-75 (in Ukrainian).
4. Svistun V.K. Vykorystannja geofizychnyh metodiv pry vyrishenni geoekologichnyh problem Kryvbasu: Diss. ... kand. geol. nauk. Dnipropetrovsk, DNVZ National Mining University, 2016, 182 p. (in Ukrainian).
5. Svistun V.K. The study of negative geological phenomena of southwestern part of Krivbas by geophysical methods. *Zbirnyk naukovykh prats National Mining University*. 2015, no. 49, pp. 16-23 (in Ukrainian).
6. Pigulevskiy P., Svistun V., Slobodyaniuk S., Kyrlyuk A. Studying of modern flooding of southwestern part Krivbas by geophysical methods. *15th EAGE International Conference of Geoinformatics – Theoretical and applied aspects, May 10-13, 2016: abstracts*. Kiev, VAG, 2016, abstract no. 9751. – 6 p. DOI: 10.3997/2214-4609.201600477. Available at: <http://earthdoc.eage.org/publication/publicationdetails/?publication=84578> (Accessed 10 August 2016) (in Ukrainian).

Received 10/08/2016