

ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОЕЛЕКТРИЧНИМИ МЕТОДАМИ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПІВДЕННО-ЗАХІДНОГО КРИВБАСУ. ЧАСТИНА 1. ФІЗИКО-ГЕОЛОГІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДОСЛІДЖЕНЬ

П.Г. Пігулевський^{1,2}, В.К. Свистун¹, 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: ipre-main@svitonline.com

Проаналізовано можливості ефективного використання геоелектричних методів для комплексного вивчення впливу техносфери на геологічне середовище Кривбасу з метою вирішення завдань екологічної безпеки. Як приклад розглянуто результати виконання робіт геоелектричними методами Дніпропетровською геофізичною експедицією “Дніпрогеофізика” під час вивчення інженерно-геологічних умов південно-західної частини Кривбасу, і передусім гідрогеологічних. Аналіз наявної петрофізичної та інженерно-гідрогеологічної інформації дав змогу вибрати оптимальні електророзвідувальні параметри установки вертикального електричного зондування (ВЕЗ) та природного поля (ПП). Досліджувана територія зазнає великого техногенного навантаження, а також впливу природних геологічних процесів (карстоутворення, неотектонічна активність), які контролюють поверхневий та підземний розподіл води. Викладено петрофізичні та інженерно-гідрогеологічні дані щодо території південно-західної частини Кривбасу і можливості геоелектричних методів для визначення рівня стояння підземних вод: методика виконання польових робіт, результати обробки та інтерпретації даних цих методів.

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

Вступ. Для південно-західної частини Криворізького залізорудного басейну (Кривбасу) характерна висока щільність розміщення найбільших техногенних об'єктів – шламо- і водосховищ, а також великих відвалів кристалічних й осадових порід, які є невід'ємною частиною технологічного процесу роботи гірничодобувних підприємств. Наявність таких техногенних утворень певним чином відображається на гідрогеологічному режимі території і зумовлює її водонасиченість [1, 3–5].

Правобережні відвали з їх водоакумулювальною і водонаповнювальною здатністю спричинили підтоплення та активізацію зсувних і провальних (карстових) явищ у населених пунктах Рудничне та Рахманівка.

Крім великого техногенного навантаження, регіон зазнає впливу природних геологічних процесів – карстоутворення та неотектонічної активності, що контролюють як поверхневий, так і підземний водний розподіл.

Велика складність і важливість розв'язання наявних проблем зумовлює необхідність збору та ретельного вивчення результатів усіх раніше проведених геологічних, гідрогеологічних й геофізичних робіт, виконання їх детального аналізу, на основі якого визначено оптимальний комплекс і методику геофізичних досліджень. На першому етапі були вивчені гео-

фізичні властивості та інженерно-геологічні умови площі досліджень, насамперед гідрогеологічні.

Гідрогеологічні умови. Гідрогеологічні особливості території пов'язані з геолого-тектонічною будовою та природно-географічними (кліматичними і геоморфологічними) факторами [2].

У геологічній будові досліджуваного верхнього осадового комплексу беруть участь породи четвертинного та неогенового віку.

За умовами залягання, ступенем водозбагаченості, хімічним складом на площі виділено п'ять водоносних, два слабководоносні та чотири водотривкі горизонти [5–8]. Нижче залягають водоносні та водотривкі горизонти палеогенової системи.

Електричні властивості порід. Площі підтоплення південно-західної частини Кривбасу вивчено переважно електророзвідувальними методами з урахуванням характеристик електричних властивостей порід [8] за результатами узагальнення матеріалів Держбуду РРФСР та партії руднично-шахтної геофізики (ПРШГ) геологічного управління Мінчермету УРСР (табл. 1, 2).

Найбільші значення електричного (питомого) опору характерні для порід кристалічного фундаменту (від перших сотень до тисяч ом-метрів). Вивітрілі інтервали корінних порід мають нижчий електричний опір, який зменшується у корі виві-

тряння до 10 Ом·м. Приуроченість до верхньої вивітрілої частини корінних порід водоносного горизонту впливає на підвищення електропровідності кори вивітряння. Таке явище є сприятливим для картування розривних порушень.

Серед порід осадової товщі відносно високий питомий електричний опір мають піски, але він цілком залежить від водонасичення і, деякою мірою, від гранулометричного складу. У природному заляганні піски є водоносними горизонтами, через це в умовах водонасичення їх опір варіює в межах 25–80 Ом·м. Супіски і суглинки близькі за електричними властивостями. Їх опір змінюється для району робіт переважно в межах 10–30 Ом·м. Глини мають найнижчі значення електричного опору. Залежно від ступеня ущільнення та зволоження вони змінюються на площі вишукувань від 2 до 20 Ом·м.

Попередні комплексні геофізичні дослідження.

Крім вивчення інженерно-геологічних умов площі досліджень, і передусім гідрогеологічних, проаналізовано та узагальнено результати: комплексних геофізичних досліджень за попередні роки (з 1960 по 2005 рр.); геологічних знімів масштабів 1:50 000 та 1:200 000; структурно-профільного буріння; гідрогеологічних та інженерно-геологічних спостережень експедиції “Кривбасгеологія”, підприємства “Кривбасшахтозакриття”, партій об’єднання “Укрчорметгеологія” та інших науково-дослідних інститутів і науково-виробничих організацій.

Таблиця 1. Електричні властивості гірських порід (питомий опір)

Table 1. Electrical properties of rocks (resistivity)

Порода	Стан гірської породи	Питомий електричний опір, Ом·м	
		За РСН 43-74 Держбуду РРФСР	ПРШГ (параметрія), 1983–1985 рр.
Грунтовий пласт	Вологий	50–100	–
Піски	Маловологі	400–1500	150–240
	Вологі	150–200	80–150
	Насичені водою	40–100	–
Супіски	Тверді й пластичні	40–170	16–82
	Текучі	20–70	–
Суглинки	Тверді і м’які, пластичні	18–44	11–170
	Текучепластичні й текучі	16–36	–
	Глини	2,0–26	6–28
Глини	Тверді та м’які, пластичні	2,0–26	6–28
	Текучепластичні й текучі	1,0–16	–
	Граніти	Вивітрілі	30–400
	Невивітрілі	250–10000	–

За результатами аналізу та узагальнення різноманітних геолого-геофізичних матеріалів для виявлення ступеня зволоження геологічного середовища було вибрано комплекс електророзвідувальних методів досліджень у модифікації вертикального електричного зондування (ВЕЗ) та природного поля (ПП) [2–5].

Передумови використання геоелектричних методів. В основу методу покладено залежність розподілу питомого електричного опору гірських порід як функції просторових координат за площею $\rho = f(\rho(x, y))$ та глибиною $z(x, y)$. Первинне поле під час роботи методом опорів створюється сукупністю точкових або дипольних джерел, розташованих довільним способом на земній поверхні або в свердловинах і гірських виробках [1].

До початку польових досліджень було проаналізовано стандартні установки, які використовують

Таблиця 2. Результати визначення уявного опору порід у природному заляганні мікроустановками СЕП і ВЕЗ на площі робіт [8] (перекладені)

Table 2. The results of apparent resistivity determination for the natural overlaid rocks of the studied area by micro VES and micro SEP [8] (recreated)

Порода	Кількість спостережень	Середнє значення ρ_y , Ом·м
Суглинки шільні	8	109
Суглинки гумусовані (сухі)	6	131
Суглинки червоно-бурі (слабковологі)	8	30
Суглинки чорні (викошний ґрунт)	6	103
Суглинки бурі (слабковологі)	11	82
Глина світло-коричнева (волога)	8	10
Глина з невеликою домішкою піску слабковолога	8	26
Глина волога	8	16
Супісок (глинистий пісок) червоно-бурій з включеннями світлого піску	5	28
Супісок червоно-бурій	8	18
Супісок, що переходить у пісок різнозернистий	9	53
Супісок бурій (слабковологий)	11	82
Пісок (слабковологий)	6	106
Пісок сухий	8	160
Пісок вологий, різнозернистий	7	50
Вапняк черепашковий (порушений, слабковологий)	8	193
Вапняк оолітовий (порушений, вологий)	5	100
Вапняк сильно порушений (пухкий)	17	53
Вапняк вивітрений	8	474
Вапняк шільний (сухий)	8	548

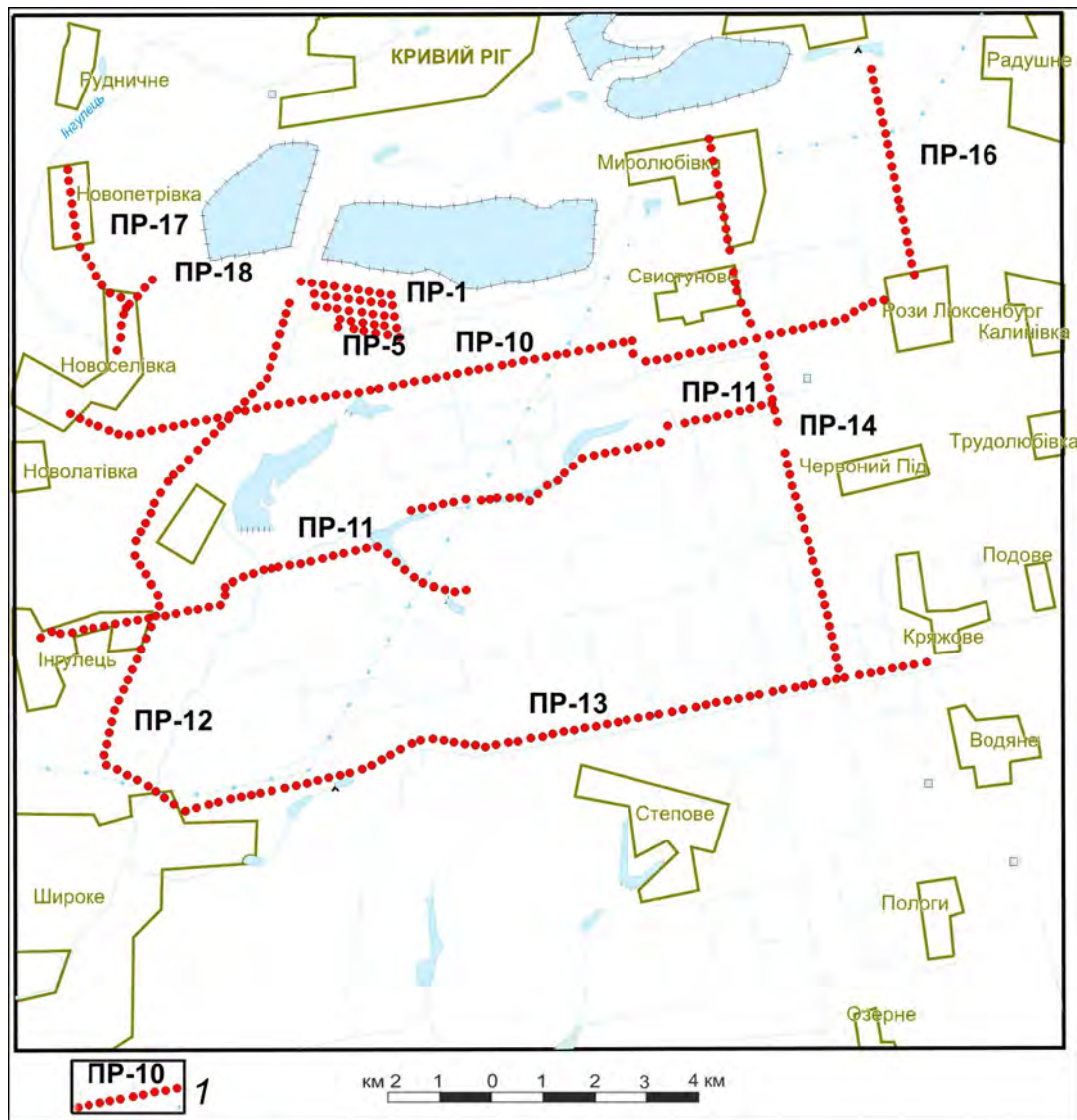


Рис. 1. ГІС-основа площі досліджень з точками спостережень ВЕЗ в 2008 і 2012 рр.: 1 – точки спостережень і номер профілю

Fig. 1. GIS basement of study area with of points of VES observation in 2008 and 2012: 1 – points of observations and profile number

в електророзвідувальних методах та від вибору виду яких залежать глибинність і роздільна здатність методу. Вибір установки є найважливішим елементом методики, особливо якщо брати до уваги, що цей регіон характеризується великим техногенним навантаженням, а площа досліджень зазнає впливу таких природних геологічних процесів, як карстоутворення та значна неотектонічна активність, які контролюють як поверхневий, так і підземний водний розподіл.

З огляду на технічні характеристики електроустановок у методі ВЕЗ, значну площу досліджень і глибину її вивчення, довжину профілів та варіантів їх можливого розміщення на місцевості, стислий час на проведення робіт було вибрано чотириелектродну установку, параметри якої мають враховувати наведені особливості та геоелектричні властивості порід.

При обґрунтуванні методики проведення польових робіт показано [1–3], що оптимальним є за-

стосування зондувань з чотириелектродною симетричною установкою $AMNB$ та апаратурою АНЧ-3. З урахуванням потужності розущільнених утворень та очікуваних параметрів геолого-гідрогеологічного розрізу розраховано, що довжина розносів AB дорівнює 300 м.

Методичні особливості виконання польових електророзвідувальних досліджень. За результатами аналізу та синтезу незначних обсягів геофізичних досліджень, виконаних на площі досліджень в минулі роки, були проведені спостереження методом ВЕЗ [2–5]. Використання попередньо побудованої карти уявного опору на розносі 150 м (1984 р.) та схеми інженерно-геологічного районування дало змогу виділити різноманітні ділянки досліджень і намітити місця оптимального розташування профілів для детального вивчення масиву (рис. 1). На всій площі досліджень ВЕЗ було виконано на 14 окремих профілях значної довжини з кроком спо-

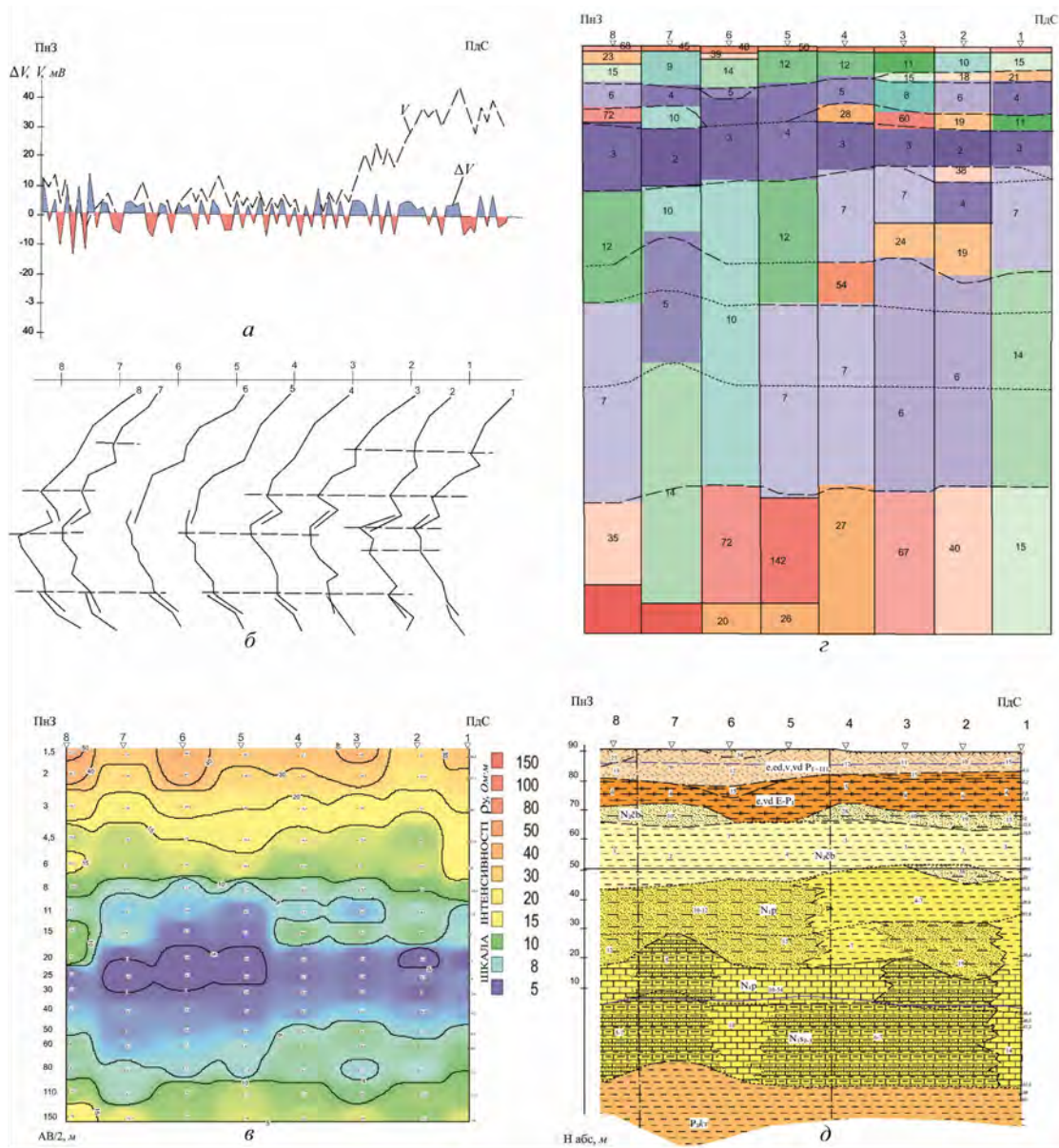


Рис. 2. Схема кількісної інтерпретації ВЕЗ на профілі 2: а – графіки градієнта (ΔV) та потенціалу (V) природного електричного поля (2008 р., масштаб: горизонтальний 1:10 000, вертикальний 1:500); б – криві ВЕЗ; в – вертикальний розріз ізоом уявного опору (ρ_v) для спостережень 2008 р. (масштаб: горизонтальний 1:10 000, вертикальний логарифмічний); г – результати кількісної інтерпретації даних ВЕЗ; д – геолого-геофізичний розріз профілю 2 (масштаб: горизонтальний 1:10 000, вертикальний 1:500)

Fig. 2. Scheme of quantitative VES interpretation, profile 2: а – graphics of the gradient (ΔV) and potential (V) of natural electric field (2008, scale: horizontal 1:10 000, vertical 1:500); б – VES curves; в – vertical section of apparent electrical resistance (ρ_v), observation in 2008 (scale: horizontal 1:10 000, vertical logarithmic); г – the results of quantitative VES interpretation; д – geological and geophysical section on profile 2 (scale: horizontal 1:10 000, vertical 1:500)

стерезень 200 м у близькому до субширотного і субмеридіонального напрямках з окремими відхиленнями залежно від умов місцевості (орієнтації доріг, посадок та ін.).

Основне завдання цих досліджень – виявлення пластів гірських порід з різним електричним опором, які є водопровідними або водотривкими горизонтами, та визначення за показниками електричного опору ступеня їх зволоження і розміщення в них зон підвищеної проникливості.

З метою детальної характеристики верхньої

частини зони аерації на деяких профілях проводили лінійні ВЕЗ з малими розносами.

Для визначення змін геоелектричних параметрів порід, пов'язаних з просторово-часовими змінами гідрогеологічних обставин навколишнього середовища, через 4 роки на основних профілях були виконані повторні лінійні ВЕЗ.

Для вивчення впливу анізотропії порід виконано 33 хрестові ВЕЗ для ув'язки геоелектричних даних у різних напрямках, отриманих на одній точці. Крім того, на точках раніше пробурених свердло-

вин проведено параметричні ВЕЗ для зіставлення електричних і геологічних параметрів, уточнення меж геологічних пластів, їх потужності для якісної та кількісної інтерпретації ВЕЗ.

Також були виконані моніторингові спостереження на всіх основних профілях досліджень.

Методика інтерпретації електророзвідувальних робіт методом ВЕЗ. Потреба у додатковій інформації про структуру водоносного комплексу і параметри неоген-четвертинних відкладів зумовила необхідність побудови геолого-геофізичних розрізів за результатами електророзвідки ВЕЗ. У подальшому ці розрізи були покладені в основу комплексної інтерпретації результатів геофізичних досліджень [7–9].

У процесі кількісної інтерпретації виділено пласти з різними значеннями електричного опору (рис. 2), контакти яких були зіставлені з геологічними контактами стратиграфічних горизонтів, виявлених за даними раніше пробурених свердловин на профілях ВЕЗ або на незначній відстані від них.

Якщо положення згаданих контактів збігалось з геоелектричним розрізом, то такі інтервали на розрізі позначали штриховою лінією. Оскільки різні типи порід у зволоженому стані мають близькі значення геоелектричного опору (наприклад, мергелясті пухкі вапняки та глини, які характеризуються низькими значеннями електричного опору, піски та міцні, щільні вапняки, які мають відносно високі значення електричного опору або однакові типи порід, що належать до різних стратиграфічних горизонтів), контакти стратиграфічних горизонтів за даними ВЕЗ часто не простежуються. У такому разі прогнозовані стратиграфічні контакти зображено на розрізі пунктирною лінією.

У межах виділених стратиграфічних горизонтів штрих-пунктирною лінією позначено ділянки, де значення електричних опорів значно різнилися. Значна різниця електричного опору в межах одного стратиграфічного горизонту може бути пов'язана із змінами фізичного стану або літологічного складу порід – часткове розчинення (закарстованість), розущільнення (характерні переважно для горизонтів вапняків), фаціальні зміни літологічного складу (властиві піщано-глинистим товщам).

У межах виділених ділянок, де діапазон змін електричного опору вказує на певний літологічний тип або фізичний стан порід, на геоелектричних розрізах показано їх мінімальні й максимальні значення.

На ділянках геоелектричних розрізів, де інтерполяція геологічних даних була некоректною, положення контактів стратиграфічних горизонтів визначено з урахуванням положення маркувальних горизонтів, якими вважаються пласти з однорідними значеннями електричних опорів. До таких пластів на території досліджень можна віднести

горизонт червоно-бурих глин верхнього пліоцену та горизонт важких суглинків еоплейстоцену і нижнього неоплейстоцену. Серед них на території утворюються водотривкі пласти, які в умовах зволоження виділяються постійно низькими значеннями електричного опору.

Висновки. Аналіз наявної петрофізичної та інженерно-гідрогеологічної інформації дав змогу розрахувати вибір оптимальної електророзвідувальної установки ВЕЗ, яка б вирішувала поставлені завдання для регіону, що характеризується великим техногенним навантаженням, а площа досліджень зазнає впливу таких природних геологічних процесів, як карстоутворення і неотектонічна активність, що контролюють поверхневий та підземний водний розподіл.

За результатами розрахунків оптимальним є зондування чотириелектродною симетричною установкою *AMNB* з використанням апаратури АНЧ-3. З урахуванням товщі розущільнених утворень та очікуваних параметрів геолого-гідрогеологічного розрізу визначено величину розносів *AB*: довжина 300 м, крок спостережень 200 м.

Для розчленування верхньої частини геологічного розрізу і встановлення глибини капілярного зволоження на площі досліджень визначено, що профілі ВЕЗ необхідно виконувати з малими розносами, які б фіксували уявний опір перших метрів розрізу від земної поверхні.

1. *Багрій І.Д.* Досвід комплексної оцінки та картографування факторів техногенного впливу на природне середовище Кривого Рогу та Дніпродзержинська / І.Д. Багрій, Ю.Г. Білоус, Ю.Г. Вілкул [та ін.]. – К.: Фенікс, 2005. – 216 с.
2. *Екологічна геологія України* / Є.Ф.Шнюков, В.М. Шестопапов, Є.О. Яковлев [та ін.]. – К.: Наук. думка, 1993. – 407 с.
3. *Пігулевський П.Г.* Використання геофізичних методів при вирішенні завдань техногенної безпеки в межах міських агломерацій / П.Г. Пігулевський, В.К. Свистун, С.О. Слободянюк, О.К. Тяпкин // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. – 2001. – Вип. 19. – С. 46–50.
4. *Пігулевський П.И.* О необходимости комплексных исследований геоэкологических проблем Криворожского железорудного бассейна Украины / П.И. Пигулевский, В.К. Свистун, А.С. Кирилюк // IX Междунар. науч.-практ. конф. “Обеспечение безопасности в чрезвычайных ситуациях” (Воронеж, 18 дек. 2013 г.). Ч. 3: материалы. – Воронеж, 2013. – С. 4–8.
5. *Пігулевський П.И.* К вопросу изучения причин подтопления юго-западной части г. Кривой Рог / П.И. Пигулевский, В.К. Свистун, А.С. Кирилюк // Междунар. науч.-практ. конф. “Комплексные проблемы техногенной безопасности” (Воронеж, 12 нояб. 2015 г.) материалы. – Воронеж: ФГБОУ ВО “Воронеж. гос. техн. ун-т”, 2015. – Ч. 4. – С. 67–72.
6. *Пігулевський П.Г.* Застосування геофізичних технологій при вирішенні різноманітних завдань техногенної

- безпеки / П.Г. Пігулевський, В.К. Свистун, С.П. Пахомов та [ін.] // Геоінформатика. – 2015. – № 4. – С. 52–58.
7. Свистун В.К. Об особенностях формирования техногенно-экологической ситуации в г. Кривой Рог / В.К. Свистун, В.М. Пахомов, Л.Й. Золотарева, О.А. Калиниченко // Науковий вісник НГУ. – 2005. – № 7. – С. 48–51.
8. Свистун В.К. Особливості розвитку техногенного підтоплення окремих територій Кривого Рогу / В.К. Свистун, Л.Й. Золотарьова, О.О. Калініченко // Геологічне середовище антропогенної екосистеми. Техногенез у поверхневих та підземних водах: наук.-видав. сер. – Кривий Ріг: Мінерал, 2006. – С. 24–35.

Надійшла до редакції 27.05.2016 р.

ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЮГО-ЗАПАДНОГО КРИВБАССА. ЧАСТЬ 1. ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

П.И. Пигулевский^{1,2}, В.К. Свистун¹, А.С. Кирилук³

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 использования геоэлектрических методов с целью комплексного изучения влияния техносферы на геологическую среду Криворожского железорудного бассейна (Кривбасса) и решения задач экологической безопасности. В качестве примера рассмотрены результаты исследований геоэлектрическими методами, проведенных Днепропетровской геофизической экспедицией “Днепрогеофизика” при изучении инженерно-геологических условий юго-западной части Кривбасса, и прежде всего гидрогеологических. Изучены и систематизированы сведения по дифференциации геоэлектрических характеристик осадочных и кристаллических пород. Анализ имеющейся петрофизической и инженерно-гидрогеологической информации позволил выбрать оптимальные электроразведочные параметры установки вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) и естественного поля (ЕП), что дало возможность решить поставленные задачи для территории, которая характеризуется большой техногенной нагрузкой. Последняя оказывает влияние и на протекание современных геологических процессов (карстообразование, неотектоническая активность), контролирующих поверхностное и подземное водное распределение. В первой части статьи изложены петрофизические и инженерно-гидрогеологические сведения юго-западной части Кривбасса и возможности геоэлектрических методов при изучении уровня стояния подземных вод: методика выполнения полевых работ, результаты обработки и интерпретации исследований указанными методами.

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

GEOELECTRIC STUDY OF ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITION OF SOUTHWESTERN KRYVBAS. PART 1. PHYSICAL AND GEOLOGICAL BACKGROUND

P.G. Pigulevskiy^{1,2}, V.K. Svystun¹, O.S. Kyrlyuk³

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

The **purpose** of the investigation is to analyze and generalize physical properties of rocks, geological and geophysical data. We based the study on the results obtained in the previous years. Data systematization permitted to select geophysical methods for studying the geological conditions of the Kryvbas south-western part.

Method. The petrophysical, engineering and hydrogeological data analysis of the sedimentary rocks allowed to choose optimal geoelectric parameters for the vertical electrical sounding (VES) instrument. Calculations showed the optimal instrument, which is symmetrical installation AMNB with equipment ANC-3 with spacing AB length of 300 m long. The observation step is 200 m. We performed 33 cruises VES in the points near the previously drilled wells.

This stage of the research was performed to compare electrical and geological parameters (geological strata boundaries and their bulk) under the qualitative and quantitative interpretation of VES and to study rocks anisotropy. Four years later the repeated linear VES were carried out on the main profiles. This study was conducted to determine the geoelectric rock parameters changes associated with the spatial-temporal changes in hydrogeological conditions of geological environment.

Results. The geological and geophysical sections of the first stage of our research were constructed as a result of VES electrical qualitative and quantitative interpretation. This data gave us information about the aquifer system structure and Neogene-Quaternary parameters of the sediments. In the second stage we used these sections as a basis of complex geophysical interpretation. The obtained results will be discussed in the second part of the paper.

The practical significance and conclusions. The proposed technology can rapidly detect and map the flooding zones by the geoelectric methods. The complex study is important in investigating the technosphere impact on the Kryvbas geological environment and in making environmental safety decisions.

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

References:

1. Bagriy I.D., Bilous Y.G., Vilkul Y.G. The experience of the anthropogenic impacts comprehensive assessment and mapping of Krivoy Rog and Dniprodzerzhynsk environment. Kyiv, Feniks, 2005, 216 p.
2. Shniukov E.F., Shestopalov V.M., Yakovlev E.O. et al. Ecological geology of Ukraine. Kyiv, Naukova Dumka, 1993, 407 p.
3. Pigulevskiy P.I., Svistun V.K., Slobodanyuk S.O., Tyapkin F.K. Geophysical methods application for technological safety tasks solving in urban areas. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2001, iss. 19, pp. 46-50.
4. Pigulevskii P.G., Svystun V.K., Kyryliuk A.S. About necessity of complex researches of geocological problems of Krivoy Rog ore basin of Ukraine. 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., Svistun V.K., Kiriluk A.S. The issue of studying the reasons of flooding of the south-western part of Krivoy Rog. The complex problems of the technosphere safety: conference paper. Voronezh, 2015, pp. 67-72.
6. Pigulevskiy P.I., Svistun V.K., Pakhomov S.P., Tyapkin O.K., Kiriluk A.S. Application of geophysical technologies in solving various problems of technogenic safety. *Geoinformatika*, 2015, no. 4, pp. 52-58.
7. Svistun V.K., Pakhomov V.M., Zolotarev L.Y., Kalinichenko O.A. The features of the technogenic ecology situation forming in Krivoy Rog. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 2005, no. 7, pp. 48-51.
8. Svistun V.K., Zolotarev L.Y., Kalinichenko O.O. The features of the technogenic flooding development of some areas of Krivoy Rog. Scientifically Publishing Series: The geological medium of the anthropogenic system. Technogenesis of the surface and groundwater. Krivoy Rog, 2006, pp. 24-35.

Received 27/05/2016