

## ДО ПИТАННЯ ОЦІНКИ ЗАБРУДНЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД ЕЛЕКТРОМЕТРИЧНИМИ МЕТОДАМИ

Наводяться результати електрометричних досліджень на території Калуського гірничопромислового району. Авторами статті використано методику переходу від електричного опору до мінералізації з урахуванням співставлення результатів свердловинного опробування. За результатами інтерпретації ВЕЗ за формулою переходу від електричного опору до мінералізації побудовано карту ступеня мінералізації підземних вод у межах території досліджень.

**Ключові слова:** засолення; водоносний горизонт; мінералізація; ВЕЗ; спостережні свердловини; Калуський гірничопромисловий район.

### *Вступ*

У водойми України щорічно скидається понад 5 млн. тон забруднюючих речовин. Найбільша кількість (28%) надходить у Дніпро, майже 17% - у Сів. Донець, більше 5% - у Чорне море. Крім того, значна частина забруднюючих навколишнє середовище речовин розповсюджується на поверхні ґрунту і внаслідок водної чи вітрової ерозії поверхні ґрунту, а також через ґрунтові води, які на кінцевому етапі надходять у водний басейн. Головними першоджерелами забруднення промисловими відходами України є підприємства гірничопромислового, хіміко-металургійного машинобудівного, паливно-енергетичного та агропромислового комплексів. Найбільша кількість відходів утворюється на підприємствах гірничодобувної та гірничозбагачувальної галузей промисловості [Буравльов, 2004].

Головними джерелами антропогенного забруднення ґрунтів є:

- безпосереднє складування відходів виробництва (розкриті породи золоті і шлаковідвали, шламонакопичувачі, солевідвали та хвостосховища);
- постійне розповсюдження з відвалів забруднюючих речовин шляхом ерозійних процесів;
- перенесення на відстані забруднюючих речовин через поверхневі, ґрунтові та підземні води.

Антропогенне забруднення призводить до змін фізичних властивостей ґрунтів та порід верхньої частини геологічного розрізу. Вибір геофізичних методів досліджень антропогенного забруднення залежить від геолого-геофізичних умов об'єктів вивчення. У загальному комплекс геофізичних методів при геофізичних дослідженнях включає дистанційні (аерокосмогеофізичні) методи, електрометричні, радіометричні, газометричні, термометричні, сейсмометричні, магнітометричні польові методи та каротажні дослідження. Раціональний комплекс геофізичних методів визначається конкретними задачами, природними умовами території досліджень, видом та інтенсивністю антропогенного забруднення [Вахромеев, 1995].

### *Об'єкт дослідження*

У результаті припинення калійно-магнієвого виробництва на території Калуського гірничопро-

мислового району виникла низка екологічних проблем, а саме осідання земної поверхні над відпрацьованими шахтними полями, самозатоплення Домбровського кар'єру та засолення пісчано-гравійно-галькового водоносного горизонту, який є джерелом живлення для м. Калуш. Це може призвести до транскордонної екологічної катастрофи, якщо токсичні розсоли досягнуть р. Лімниця, а далі басейну річки Дністер. Джерелами засолення підземних вод є в основному відвали, хвостосховища, дамби які не є стійкими, а також хвостовідвали та зони мульд просідання, у яких утворились солені озера. Для відстеження ареалу засолення, а також для визначення ступеня мінералізації підземних вод використовуються спостережні свердловини, що обладнані фільтрами на першій водоносній горизонт. Це – горизонт галькових відкладів, який залягає на глибині від 6 до 23 м і має потужність від кількох метрів до 15 метрів. Цей горизонт, по-перше, є джерелом питних вод для навколишніх селищ Калуської гірничо-міської агломерації, а по-друге, є горизонтом транзиту засолених вод. Кількісної оцінки швидкості поширення ареалу засолення підземних вод не проводилось унаслідок недостатньо густої сітки спостережень гідрогеологічних свердловин. Мінералізація підземних вод у межах ареалу змінюється від 1,18 г/л (свердловина №62) до 35,08 г/л (свердловина №124). Основна небезпека забруднення підземних вод полягає в тому, що це забруднення може досягти водозабору для м. Калуш на р. Лімниця далі басейну річки Дністер. Для більш достовірного визначення контурів ареалу засолення підземних вод, мінералізації та встановлення зв'язку між електричним опором та мінералізацію використано методи електрометрії, а саме метод вертикального електричного зондування.

### *Геофізичні дослідження методом ВЕЗ*

Ділянку досліджень зосередили в напрямках руху підземних вод до населених пунктів та водозабору питної води для міста Калуш. Геофізичні дослідження виконані електронним приладом АЕ-09. Максимальний рознос лінії АВ/2 складав 50 м, при потужності четвертинних відкладів до 20 м. Первинним результатом обробки

даних ВЕЗ є польові криві. Інтерпретація кривих виконана з використанням відповідного програмного забезпечення. При характеристиці геоелектричних розрізів за даними інтерпретації окремих кривих виділяються літологічні горизонти, а саме рослинний покрив, суглинки, пісчано-гравійно-гальковий горизонт, гіпсо-глиниста шляпа. Електричний опір, який притаманний гальковому горизонту, змінюється в залежності від мінералізації, що є пошуковим критерієм.

**Зв'язок електричного опору  $\rho$  та мінералізації**

З метою встановлення зв'язку між електричним опором та мінералізацією в межах ділянки досліджень було проведено відбір проб води та заміри електричного опору гірських порід методом ВЕЗ (відбір проб та заміри методом ВЕЗ виконувались одночасно). Результати представлені в таблиці.

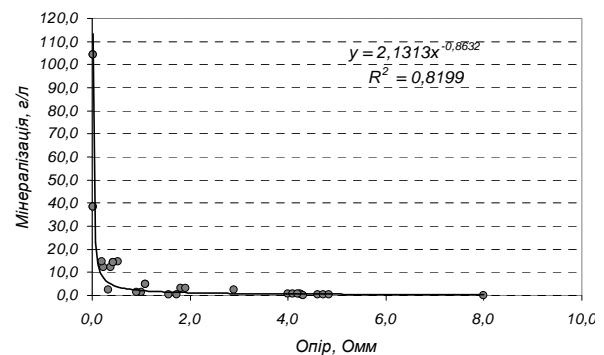
**Зміна електричного опору в залежності від мінералізації підземних вод**

№ п/п	№ пункту	$\Sigma$ солей	Електричний опір	Електричний опір (контрольні заміри)
1	св. 24	0,290	4,270	4,720
2	св. 61	2,990	1,810	1,900
3	св. 62	0,630	4,000	4,100
4	св. 63	14,790	0,520	0,200
5	св. 64	2,590	0,330	2,890
6	св. 65	104,373	0,010	0,010
7	св. 66	12,090	0,230	0,380
8	св. 69	1,270	0,998	0,900
9	св. 70	0,520	1,720	1,560
10	св. 71	0,160	8,00	7,310
11	св. 73	14,130	0,420	0,420
12	св. 75	5,000	1,090	1,090
13	св. 1А	38,500	0,011	0,011
14	св. 74	0,400	4,610	4,840
15	св. 68	0,600	4,250	4,190

Аналіз проб води, відібраних в окремих спостережних свердловинах території Калуського гірничопромислового району, надані Державним підприємством «НДІ Галурґії». Опробування проводилось у спостережних пунктах свердловинах №№ 61, 62, 63, 64, 65, 66, 68, 69, 70, 71, 73, 74, 75, 1А, 124, 24, розміщених у межах ділянки досліджень. Для оцінки засолення підземних вод досліджуваної території за отриманими результатами аналізу проб води розраховано показник мінералізації води, який характеризує концентрацію розчинених у воді твердих неорганічних (мінеральних) речовин. Характер і ступінь мінералізації може змінюватись під впливом господарської діяльності [Гольдберг, 1984, 1987]. Мінералізацію води обчислюють як сумарний вміст виявлених унаслідок хімічного аналізу мінеральних речовин. Такий вміст виражають у вигляді суми іонів у

грамах на 1 л (дм<sup>3</sup>) води. Мінералізацію обчислено за сумою головних іонів – катіонів (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>) та аніонів (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>). Рідка мережа спостережних свердловин не дає чіткої інформації про засолення водоносного горизонту, визначення контурів та меж засолення. Індикатором засоленості, крім безпосередньо встановлених за допомогою відбору проб та хімічного аналізу, значень мінералізації, може слугувати питомий опір природних вод, визначений за допомогою методу ВЕЗ, оскільки він змінюється в залежності від їх хімічного складу (табл.).

На рис. 1 зображена залежність питомого електричного опору природних підземних вод визначеного на кожній спостережній свердловині у межах території досліджень, від мінералізації (відбір проб на спостережних свердловинах).



**Рис. 1.** Графік залежності питомого електричного опору від мінералізації

Отриманий графік залежності дає можливість здійснити перехід від електричного опору до мінералізації за формулою

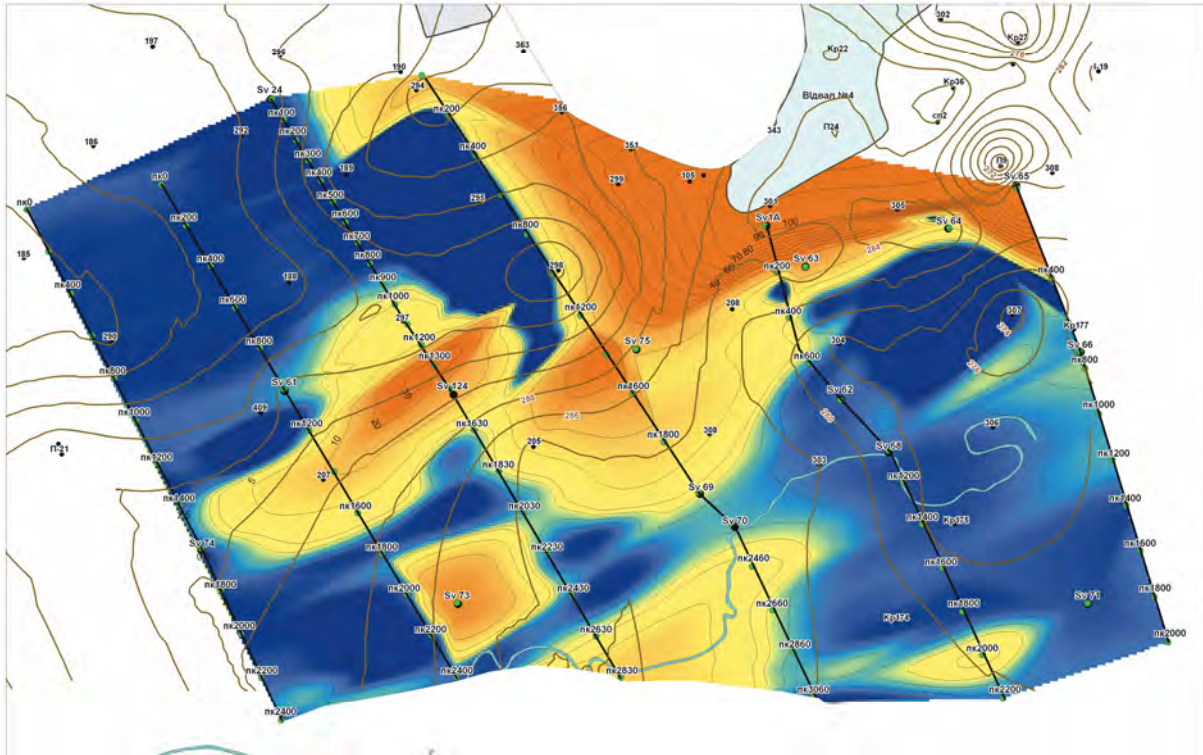
$$M = 2.042 \cdot \rho^{-0.8626}, \quad (1.1)$$

де  $M$  – мінералізація;  $\rho$  – позірний опір для розносу ВЕЗ АВ=50 м. Високе значення коефіцієнта кореляції  $K = 0.7854$  свідчить про достовірність мінералізації, отриманої за електричним опором.

З рисунка 1 видно, що деяке підвищення мінералізації починається з  $\rho \approx 3 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , далі із зменшенням опору до  $\rho \approx 0,5 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  мінералізація зростає поступово, а при  $\rho < 0,5 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  – значно.

**Побудова розрізів, карти  $\rho_i$  та карти забруднення водоносного горизонту**

У межах ділянки дослідження виконано по шести спостережних профілях ВЕЗ. Отримані результати дають можливість площинної оцінки розподілу електричних опорів і відповідно мінералізації (рис. 2). Аналіз карти засолення приводить до висновку, що основними джерелами засолення є солевідвали. Від солевідвалу №4 поширюється основне забруднення. Меншу долю засолення дають акумулюючі ємності.



**Рис. 2.** Карта засолення водоносного горизонту за даними електрометрії (метод ВЕЗ)

Таким чином, засолення в північній, північно-східній та центральній частині планшету є обґрунтованими як за можливими джерелами, так і за рельєфом підшви водоносного гравійно-галькового горизонту. Джерелом засолення в західній частині згідно з ізолініями рельєфу водоносного горизонту, мало б бути хвостосховище, яке знаходиться на північному заході. Можна припустити, що це засолення дійсно є результатом дії хвостосховища на той час, коли воно було наповнено та інтенсивно протікало. На час, коли рівень розсолів у хвостосховищі падав, інтенсивність його розвантаження зводилась до мінімального, і розсоли у водоносний горизонт не поступали. Так можна пояснити наявність високих електричних опорів і відповідно відсутність підвищеної мінералізації у північно-західній частині планшету зйомки.

Південна аномалія мінералізації, що перейшла р. Млинівку і наближається до р. Лімниця, пов'язана із аномалією в середній частині планшету, яка має зв'язок і пов'язується із джерелом засолення, а саме солевідвалом №4. Зниження мінералізації до 0,5-1,2 між цими аномаліями знову таки пояснюється сезонністю опадів, а також наявністю років аномальних опадів, коли розчинення збільшується.

Як на можливу причину значного засолення в 2012 р. північно-східної ділянки планшету, що примикає до району солевідвалів, можна вказати на так звану «рекультивуацію» солевідвалу №1, здійснену за проектом ВАТ «Гірхімпром», коли утворений природно захисний шар був знятий, а

штучний захисний шар не покладений, тобто соленосні породи були відкриті для інфільтрації опадів, розчинення солей та відповідно забруднення водоносного горизонту.

Порівняння карт, на яких зображено засолення водоносного гравійно-галькового горизонту за даними лабораторного аналізу мінералізації та за даними електричних досліджень, свідчить про їх узгодженість та непротиворічність. Разом із тим карта, що побудована за даними геофізики, є більш детальною.

**Висновки**

1. Роботи проведено на ділянці території Калуського гірничопромислового району з метою визначення ступеня та меж ореолу засолення водоносного пісчано-гравійно-галькового горизонту. У якості метода досліджень обрано геофізичний метод вертикальних електричних зондувань.

2. Фізичною підставою для застосування методу ВЕЗ є залежність електричного опору водонасичених гірських порід від ступеня мінералізації підземних вод. Зазначена залежність встановлена за результатами співставлення результатів свердловинного опробування підземних вод та електрометричних вимірювань, зображено графічно та занотовано у вигляді емпіричної формули  $M = 2.042 \cdot \rho^{-0.8626}$ .

3. За результатами інтерпретації ВЕЗ з урахуванням формули переходу від електричного опору до мінералізації побудовано карту ступеня

мінералізації підземних вод у межах території дослідження.

4. Аналіз отриманої карти засолення дає змогу стверджувати наступне:

- територія, де горизонт підземних вод заражений розсолами і має підвищену мінералізацію (більше 1 г/л), складає  $\approx 65$  га, тобто 52 % території досліджень. У межах засолення знаходяться значна кількість помешкань с. Пійло;

- основним джерелом засолення є солевідвали, вторинними джерелами – акумулюючі ємності та хвостосховища;

- площа засолення з часом зростає, при цьому південна границя ореолу засолення зміщується в сторону р. Лімниця. Відстань від границі засо-

лення до р. Лімниця складає по стану на жовтень 2012 року 400-700 м.

#### Література

Буравльов Є.П. Безпека навколишнього середовища. – Інститут проблем національної безпеки, Київ, 2004. – 320 с.

Вахромеев Г.С. Экологическая геофизика. – Иркутск – 1995. – 254 с.

Гольдберг В.М., Гавда С. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. – М.: Недра, 1984. – 262 с.

Гольдберг В.М. Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды. – Л.: Гидрометеоздат. – 1987. – 211 с.

### К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

С.М. Багрий, Э.Д. Кузьменко

Приводятся результаты электрометрических исследований на территории Калушского горнопромышленного района. Авторами статьи использована методика перехода от сопротивления к минерализации с учетом сопоставления результатов геофизики и скважинного опробования. По результатам интерпретации ВЭЗ, с учетом формулы перехода от сопротивления к минерализации построено карту степени минерализации подземных вод в пределах территории исследования.

**Ключевые слова:** засоление; водоносный горизонт; минерализация; ВЭЗ; наблюдательные скважины, Калушский горнопромышленный район.

### ON THE ASSESSMENT OF GROUNDWATER POLLUTION USING ELECTROMETRIC METHODS

S.M. Bagriy, E.D. Kuzmenko

The results of electrometric research in the mining industrial district of Kalush are presented. The method of transition from electric resistance to mineralization considering the comparison of results from borehole testing was used by authors. The map of degree of groundwater mineralization within the study area was constructed according to the interpretation of VEZ based on transition formulas from electric resistance to mineralization.

**Keywords:** salinity; aquifer; mineralization; VEZ; observation wells; mining industrial district of Kalush.