

ГЕОФІЗИКА

УДК 550.837:551.44

С.А. Вижва, докт. геол. наук
В.Г. Нурмухамедов, головн. інж. геофіз. партії
І.А. Качан, нач. геофіз. партії
М.В. Рева, канд. фіз.-мат. наук
В.М. Расовський, головн. гідрогеолог гідрогеол. партії

**ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ВЕЗ-ВПФ ТА ВЕЗ ДЛЯ ОЦІНКИ
ФІЛЬТРАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КАРБОНАТНИХ ПОРІД ВЕРХНЬОЇ КРЕЙДИ
І ВИЯВЛЕННЯ ДІЛЯНОК КАРСТОУТВОРЕННЯ (НА ПРИКЛАДІ ДІЛЯНКИ "РАФАЛОВСЬКА")**

За результатами параметричних вертикальних електричних зондувань фазовим методом викликаної поляризації (ВЕЗ-ВПФ) виявлені залежності поляризованості карбонатних порід верхньої крейди від їх фільтраційних властивостей та літологічного складу. Комплексне використання позірнього опору та поляризованості дозволяє впевнено прогнозувати місця можливих карстоутворень, що виникають в результаті притоків та міграції агресивних техногенних вод.

By results of parametrical vertical electric sounding provided by the phase method of caused polarization (VES-CPP) are revealed dependences of polarization carbonate rocks top chalk from their filtration properties and lithological structure. Complex using of specific resistance and polarization allows predicting confidently the places of possible karst-buildings which result from inflows and migration of aggressive technogenic waters.

В практиці застосування геофізичних методів дослідження для вирішення гідрогеологічних та інженерно-геологічних задач електророзвідка займає чільне місце і використовується достатньо тривалий період [1-4]. В останній час все частіше методи електрометрії, в комплексі з іншими геофізичними методами, застосовуються для вирішення екологічних задач [5], вивчення зсувонебезпечних процесів та процесів карстоутворення [6,7]. В переважній більшості, при цьому, застосовуються методи опору, зокрема класичний метод ВЕЗ. В даній статті розглянемо приклад успішного використання, поряд з класичним методом ВЕЗ, фазового методу викликаної поляризації в модифікації зондування (ВЕЗ-ВПФ) для вивчення фільтраційних властивостей порід верхньої крейди, які в тектонічно ослаблених зонах представляють собою місця, небезпечні з точки зору можливого карстоутворення, а отже є небажаними для промислового та цивільного будівництва.

В період з 1989 по 1997 роки в межах Волинського Полісся проводилися гідрогеологічна та інженерно-геологічна зйомки в комплексі з наземними геофізичними методами з метою отримання матеріалів для обґрунтування промислового та цивільного будівництва. Однією з головних задач геофізичних досліджень було виявлення ділянок тектонічно ослаблених зон, в межах яких можливий розвиток процесів карстоутворення в карбонатних породах верхньої крейди. Для вирішення поставленої задачі використовувалася електророзвідка методами ВЕЗ і ВЕЗ-ВПФ.

Мергельно-крейдові відклади коньякського і туронського ярусів верхньої крейди (потужністю до 25 м) на окремих ділянках підстилаються піщано-гравійними різновидами сеноманського яруса верхньої крейди (потужністю до 8 м). Вони, в основному, із стратиграфічним та кутовим неузгодженням залягають на потужній товщі (більше 100 м) домезозойських утворень, представлених вендськими алевролітами, аргілітами, пісковиками, базальтами, лавобрекчіями, рідше туфами. Карбонатна товща верхньої крейди перекрита піщано-глинистими відкладами палеогенової системи і четвертинними пісками, супісками та суглинками загальною потужністю від 10 до 25 м. Абсолютні відмітки поверхні мергельно-крейдової товщі коливаються від 130 до 170 м.

Водоносні горизонти четвертинних і палеогенових відкладів характеризуються малою водорясністю, містять ґрунтові води, які є незахищеними від забруднень з поверхні, і для централізованого водопостачання непридатні. Разом з тим, води цих горизонтів відіграють важливу роль для індивідуального водоспоживання за допомогою шахтних колодязів. В карбонатних породах верхньої крейди формується один із головних водоносних комплексів. Водорясність відкладів нерівномірна як по площі, так і в вер-

тикальному розрізі і залежить від ступеня їх тріщинуватості та закарстованості. Коефіцієнти фільтрації (K_f) змінюються від 0.03 до 35 м/добу і більше. Водопровідність (K_m) складає 1–300 м²/добу. Рівні напірних вод комплексу встановлюються на глибинах, що відповідають рівням ґрунтових вод безнапірних водоносних горизонтів, які залягають вище, і складають 0–10 м в залежності від розчленованості рельєфу. Води прісні (мінералізація до 0,5 кг/м³), за хімічним складом гідрокарбонатні кальцієві.

В районі досліджень ґрунтові і підземні води знаходяться в умовах як природних, так і порушених режимів. Території з порушеним режимом розташовані в межах осушувальних систем і водозаборів централізованого водопостачання. В населених пунктах ґрунтові води забруднені нітратами, нітратами та амонійними сполуками.

На території досліджень розвинута, в основному, глибинна закарстованість товщі мергельно-крейдових відкладів по системам тріщинуватості (закритий карст). Верхня частина тріщинуватої зони представляє собою підзону кольматції, потужністю від 1-2 до 6-12 м. Карстоутворення тісно пов'язане з порушенням цілості зони кольматції на ділянках розвитку розривних порушень, що сприяє швидкому водообміну в зоні аерації. Максимальні розміри проявів карсту відмічаються в місцях найбільших втрат техногенних агресивних вод. Локальне підвищення агресивності підземних вод в породах, що карстуються, як правило є причиною активізації тріщинного карсту, а також його поверхневих проявів у вигляді воронкоподібних (відкритий карст). Карстові воронки мають широке розповсюдження, особливо в районах населених пунктів, де відмічаються їх скупчення до 20 і більше штук на 1 км². Глибина воронкоподібних 1-3 м, діаметр змінюється від 10 до 100 м. У більшості випадків вони заболочені.

Електророзвідувальні дослідження методом вертикальних електричних зондувань (ВЕЗ) і зондувань фазовим методом викликаної поляризації (ВЕЗ-ВПФ) застосовувалися з метою розчленування геоелектричного розрізу мезокайнозойських відкладів і верхньої частини домезозойських утворень з виділенням горизонтів піщаних, глинистих, карбонатних і вулканогенних різновидів порід, визначенням їх глибин залягання, потужностей, опорів і поляризованостей; виявлення ділянок тектонічно ослаблених зон, в межах яких можливий розвиток і активізація процесів карстоутворення в карбонатних породах верхньої крейди; оцінки фільтраційних властивостей верхньокрейдових порід. Як приклад на рис.1 приводяться результати електророзвідувальних досліджень на ділянці "Рафалівська", як однієї з найбільш вивчених.

З метою визначення зв'язку між геофізичними, геологічними і гідрогеологічними параметрами досліджуваного середовища були виконані параметричні спостереження методом ВЕЗ-ВПФ на 21 свердловині з різними геологічними розрізами мезокайнозойських відкладів (рис.2).

Польові спостереження методами ВЕЗ-ВПФ і ВЕЗ виконувалися за допомогою мікро установок, суміщених із стандартними, з напіврозміром лінії живлення АВ/2 до 500 м. Дослідження методом ВЕЗ-ВПФ здійснювалися оберненими установками, методом ВЕЗ – прямими. Польові роботи методом ВЕЗ проводилися по сітці, близькій до

0,5×0,5 км, методом ВЕЗ-ВПФ – до 2×2 км. Електророзвідувальні роботи не були проведені в межах населених пунктів та у важкопрохідній заболоченій поймі річки (західна частина ділянки "Рафаловська"). В зв'язку з важкими умовами заземлення, в місцях широкого розвитку в зоні аерації потужної товщі піщаних відкладів виконати спостереження методом ВЕЗ-ВПФ не вдалося. При виконанні робіт методом ВЕЗ-ВПФ використана електророзвідувальна станція ЕВП-203. Виміри проведені на частоті $f=0.3$ Гц. Спостереження методом ВЕЗ виконувалися за допомогою автокомпенсатора АЕ-72.

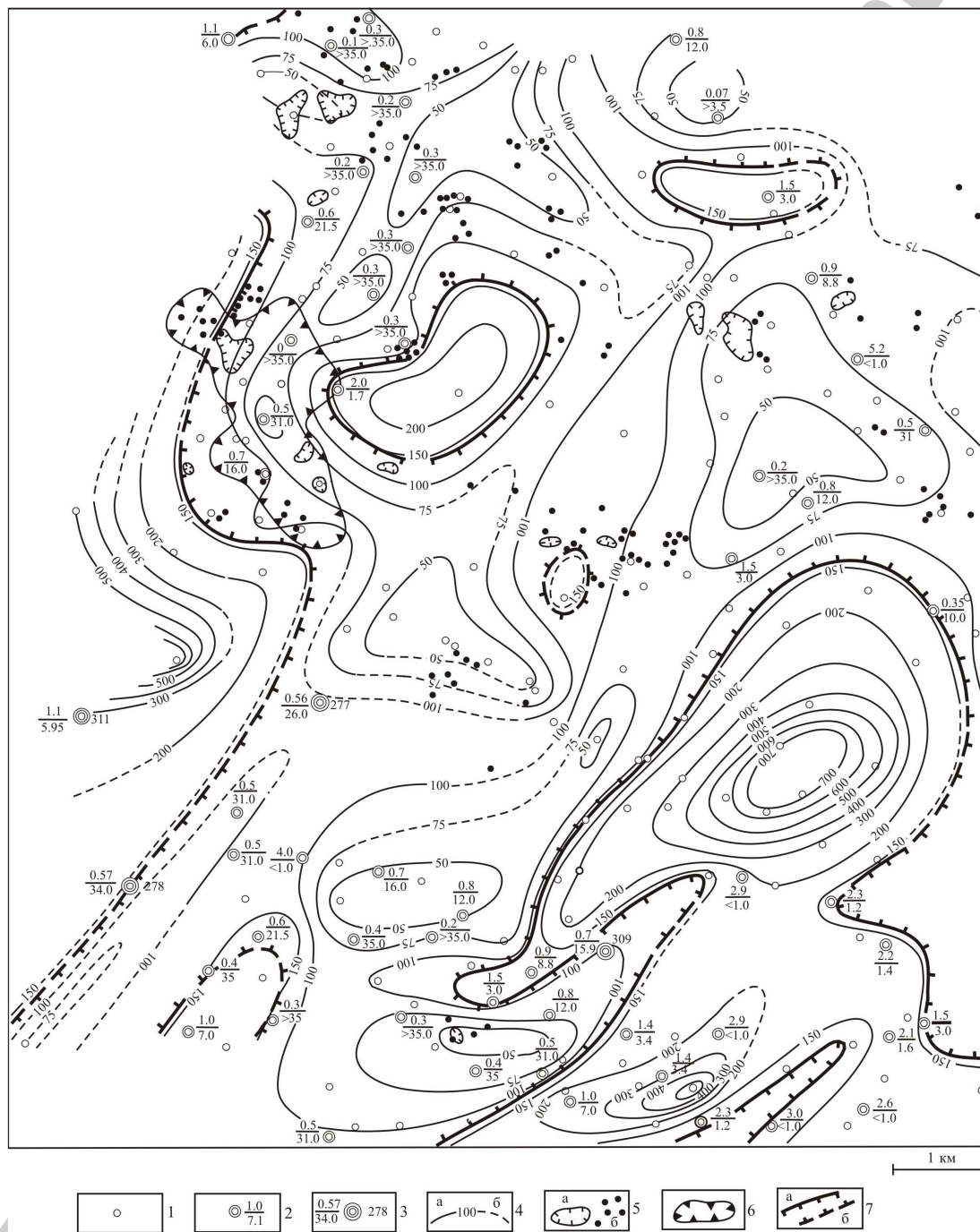


Рис.1. Результати електророзвідувальних досліджень на Рафалівській ділянці: 1-3 – точки спостереження ВЕЗ (1) і ВЕЗ-ВПФ (рядові (2) та параметричні (3); в чисельнику – значення параметра поляризованості η в %, в знаменнику – коефіцієнт фільтрації K_f в м/добу за даними гідрогеологічних досліджень в свердловинах (3) та методу ВЕЗ-ВПФ (2)); 4 – ізоформи крейдяних відкладів (в залежності від щільності мережі спостережень методом ВЕЗ – більш (а) і менш (б) впевнені); 5 – окремі карстові воронки в мезокайнозойських утвореннях за даними дешифрування аерофотознімків і маршрутних спостережень, виражені (а) і не виражені (б) в масштабі рисунка; 6 – ділянки з карстово-мікрозападинним рельєфом; 7- області розвитку тріщинуватості і підвищених значень коефіцієнта фільтрації ($K_f > 10$ м/добу) осадових крейдяних утворень за даними методів ВЕЗ і ВЕЗ-ВПФ та гідрогеологічних досліджень свердловин (в залежності від щільності мережі досліджень більш (а) і менш (б) впевнені).

Пошарова інтерпретація кривих ρ_p і перерахованих в параметр η_p значень кута зміщення фаз φ_p за формулою $\eta_p \approx 2.8\varphi_p$ здійснювалася в автоматизованому режимі за допомогою програми IPI-1D, розробленої на кафедрі геофізики МДУ. Для найбільш точного визначення опору і параметра поляризованості крейдових відкладів при інтерпретації кривих ρ_p і η_p закріплювалися відмітки покрівлі та підшови крейдових горизонтів, відомості про які знімалися з карт гіпсометрії покрівлі та підшови крейди, побудованих за даними свердловин різного призначення. Густота цих свердловин була порівнянна з сіткою спостережень методом ВЕЗ.

За результатами параметричних спостережень методом ВЕЗ-ВПФ встановлена залежність параметра поляризованості η_p верхньокрейдових відкладів від їх коефіцієнтів фільтрації K_f та літологічного складу (рис.2). За даними буріння в межах площі досліджень, охопленій рисунком 1, верхньокрейдові відклади представлені переважно мергельно-крейдовою товщею. На рис. 1 в точках ВЕЗ-ВПФ за результатами кількісної інтерпретації винесені значення η_p крейдових порід (в чисельнику) та їх коефіцієнтів фільтрації (в знаменнику), визначені з використанням залежності $\eta_p = f(K_f)$, представленої на рис.2.

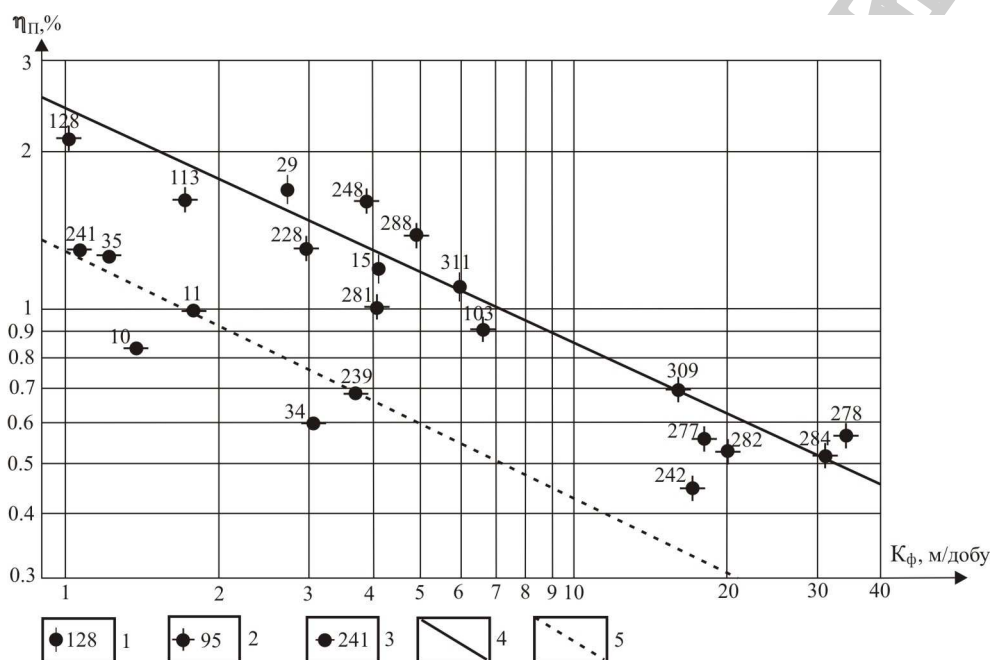


Рис. 2. Залежність параметра поляризованості η_p верхньокрейдових відкладів від їх коефіцієнтів фільтрації K_f і літологічного складу: 1–3 – параметричні свердловини та їх номери з переважним розповсюдженням крейдових (1), мергельно-крейдових (2) і мергельних (3) порід; залежність $\eta_p = f(K_f)$ для областей переважного розвитку мергельно-крейдових та крейдових (4) і мергельних (5) відкладів.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що електричний опір мергельно-крейдової товщі змінюється в широких межах – від 20 до 750 Ом·м (див. рис.1). На карті ізоом відмічаються багаточисельні діагональні і субширотні лінійні мінімуми електричних опорів верхньокрейдових відкладів, що ототожнюються з тектонічними порушеннями. Для монолітних крейдових відкладів характерні електричні опори порядку 150-750 Ом·м. З появою і збільшенням тріщинуватості, зруйнованості, вилугування і виникненням карстоутворюючих порожнин електричний опір карбонатних порід знижується до 150-20 Ом·м. За даними дешифрування аерофотознімків і маршрутних досліджень в областях понижених опорів виявлені багаточисельні прояви карсту (рис.1). Як правило, ці області верхньокрейдових утворень мають високі значення коефіцієнта фільтрації K_f . Так, в свердловині 311, розташованій в межах не порушених і високоомних (біля 300 Ом·м) мергельно-крейдових порід, коефіцієнт фільтрації складає $K_f = 5.95$ м/добу, а в свердловинах 277, 278 і 309, розташованих в області низькоомних (менше 150 Ом·м) утворень крейди, коефіцієнт фільтрації має відповідно значення 26.0, 34.0 і 15.9 м/добу (див. рис.1). Практично всі високі значення коефіцієнтів фільтрації ($K_f > 10$ м/добу), визначені за допомогою методу ВЕЗ-ВПФ, зосереджені в області низьких (менше 150 Ом·м) значень електричних опорів крейдових порід.

На рис.1 виділені області тріщинуватих карбонатних порід верхньої крейди, що характеризуються низькими електричними опорами ($\rho_p < 150$ Ом·м) і поляризованостями ($\eta_p < 0.85\%$), а також високими коефіцієнтами фільтрації ($K_f > 10$ м/добу). Безперечно, що в межах цих областей можливий розвиток процесів карстоутворення. Розміщення об'єктів промислового і цивільного будівництва в подібних місцях недоречно, оскільки процесам карстоутворення будуть сприяти неминучі витoki із господарських комунікацій забруднених і (або) теплих агресивних техногенних вод, а також депресійні воронки, що утворюються в місцях інтенсивних водозаборів і які викликають приток збагачених киснем поверхневих вод. Виділені області тріщинуватих верхньокрейдових порід придатні для облаштування водозаборів при умові відповідного розрахункового віддалення їх від населених пунктів і будівельних об'єктів.

Таким чином, встановлено високу ефективність польових електрометричних досліджень (ВЕЗ, ВЕЗ-ВПФ) при вивченні карстово-суфозійних процесів в мергельно-крейдових товщах та побудовані кореляційні залежності між електричними параметрами (η_p , ρ_p) і коефіцієнтами фільтрації, що можуть бути використані для подібних досліджень в районах з недостатньою кількістю параметричних і картувальних гідрогеологічних свердловин.

1. Мелькановицький І.М. Геофизические методы при региональных гидрогеологических исследованиях. – М.: Недра, 1984. – 175 с. 2. Методы геофизики в гидрогеологии и инженерной геологии. – М.: Недра, 1985. – 184 с. 3. Павлова Т.А., Хмелевской В.К. Оценка водопроницаемости толщ пород по их поперечному электрическому сопротивлению // Гидротехника и мелиорация. – 1978. – №11. – С. 47-48. 4. Вижва С.А., Нікіташ О.П., Онищук І.І. Особливості гідрогеологічної інтерпретації електрондунвань при пошуках тріщинних вод // Тези доп. IV Міжн. наук. конф. Моніторинг небезпечних геолог. проц. та еколог. стану середовища (9-11 жовтня). – Київ, 2003. – С. 74-75. 5. Шмарьян С.А., Онищук І.І., Комская А.Ю. Опыт применения геофизических методов при

геоэкологических исследованиях (лесостепная зона Украины) // Сб. материалов. Геофизические исследования в гидрогеологии, инженерной геологии. – Ташкент, 1991. – С. 104-106. 6. Вижва С.А., Дейнеко С.І. Геофізичний моніторинг карстово-суфозійних процесів на території Рівненської АЕС // Вісник Київ. ун-ту. Геологія. – 2004. – Вип. 29. – С. 4-7. 7. Кузьменко Е.Д., Багрий С.М., Вдовина О.П., Штогрин М.В., Бачинський В.А. Комплекс геофізичних методів прогнозування розвитку соляного карсту в Передкарпатті // Вісник Київ. ун-ту. Геологія. – 2003. – Вип. 26. – С. 43-50.

УДК (550.83.015.013:550.382.7):553.98

О.Т. Азімов, канд. геол.-мінералог. наук, ст. наук. співроб.

АНАЛІТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК АНОМАЛІЙ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ВІД ПОКЛАДІВ НАФТИ І ГАЗУ

Розглянуто функціональні вирази вертикальної складової магнітного поля Z для моделі горизонтального пласта. Для умов Керченського підняття Прикерченської ділянки шельфової зони Чорного моря у контексті синергетичної обробки/інтерпретації комплексу дистанційних і геолого-геофізичних даних аналітично розраховано аномальний ефект в магнітному полі від ідеалізованого нафтогазового покладу.

Functional expressions of magnetic field vertical component (Z) for a horizontal stratum model are considered. For the Kerch uplift conditions of the Black sea' Kerch shelf zone the anomalous effect in magnetic field of an idealized petroleum deposit is calculated analytically. It is presented in a context of the synergetic processing and interpretation of integrated remote sensing and geological-geophysical data.

Вступ

В межах територій, до яких проявляється підвищений нафтогазопотушковий інтерес, проводяться різноманітні геолого-геофізичні пошукові роботи (в тому числі дистанційні аерокосмічні). Часто це здійснюється без взаємного врахування отриманих результатів. Разом із тим роботи з виявлення покладів вуглеводнів (ВВ) повинні базуватися на економічно обґрунтованих комплексних геолого-геофізичних дослідженнях, які включають інтеграцію і спільну інтерпретацію великих об'ємів різноманітних числових даних (Data Fusion): вимірів геофізичних полів, отриманих в різних спектральних діапазонах електромагнітних хвиль матеріалів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), параметричних характеристик геологічного середовища [7, 14]. Тобто таких дослідженнях, які ефективно реалізують синергетичний підхід на підставі використання нейромережевих технологій.

Побудова моделі

Як елемент синергетичного підходу обробки та інтерпретації даних виконаємо аналітичний розрахунок кількісно можливого пошукового сигналу (аномалії магнітного поля – ΔT або Z), який пов'язаний з нафтогазовим покладом. Припустимо, що останній являє собою пласт малої товщини (Δh), яка менше за його горизонтальні розміри (2b) (рис. 1):

$$\Delta h < 2b, \quad (1)$$

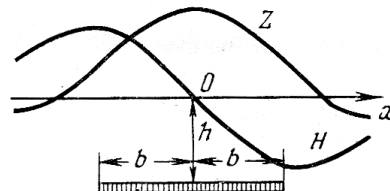
що цілком відповідає переважній більшості умов відомих родовищ ВВ різних морфогенетичних типів багатьох нафтогазоносних областей. Таким чином, для аналітичного вираховування можливого пошукового сигналу (аномалії ΔT або Z) апроксимацію передбачуваного нафтогазового покладу здійснимо двовимірною прямокутною призмою, а гірських порід за контуром покладу – напівшарами.

Отже, функціональний вираз вертикальної складової магнітного поля (Z) над пластом обмеженого розповсюдження на глибину буде являти собою різницю виразів Z над двома пластами нескінченно великого розповсюдження на глибину. Один із цих пластів має верхню кромку, яка збігається з заданою (покрівля покладу ВВ), а в іншого вона відповідає нижній кромці заданого пласта (підшова покладу ВВ).

Якщо товщина пласта Δh дуже мала порівняно з глибиною його залягання (h) і горизонтальними параметрами $2b$, то отримаємо пласт, який залягає горизонтально

(рис. 1). Припустимо, що й можливий нафтогазовий поклад також залягає горизонтально. Таким чином, щоб написати аналітичний вираз напруженості магнітного поля по лінії (осі) X , яка перпендикулярна до простягання пласта (Декартова система координат), достатньо взяти похідну по h зі зворотнім знаком від виразу, що відповідає напруженості поля пласта великої товщини, і помножити на Δh . Останнє є значенням товщини пласта обмеженого розповсюдження на глибину.

а



б

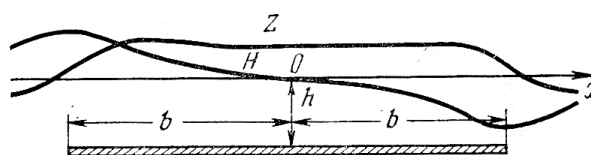


Рис. 1. Криві Z і H над горизонтальним пластом (а – горизонтальна потужність пласта менше або порівнянна з глибиною його залягання; б – горизонтальна потужність пласта значно перевищує глибину його залягання) [5]: x – лінія (вісь), яка перпендикулярна до простягання пласта і вздовж якої вираховують значення магнітного поля ($x=0$ у точці, яка відповідає проекції середини верхньої кромки пласта на вісь X), b – $1/2$ горизонтальних розмірів пласта, h – глибина до верхньої кромки пласта

Відповідно до [4], в загальному вигляді напруженість поля похилого пласта великої товщини виражається формулою:

$$Z = 2J \left[\left(\arctg \frac{x+b}{h} - \arctg \frac{x-b}{h} \right) \cos \nu - \frac{1}{2} \sin \nu \ln \frac{h^2 + (x+b)^2}{h^2 + (x-b)^2} \right] \sin \alpha, \quad (2)$$

при цьому