

УДК 550.83:556,388

С.А. Вихва, д-р геол. наук,
В.Г. Нурмухамедов, головн. інж. геофіз. партії,
І.А. Качан, нач. геофіз. партії,
М.В. Рева, канд. фіз.-мат. наук,
О.П. Нікіташ, нач. гідрогеол. партії,
А.П. Гончарук, провід. геофізик

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ВЕЗ-ВПФ ДЛЯ ОЦІНКИ ЗАБРУДНЕННЯ НАФТОПРОДУКТАМИ ВЕРХНЬОЇ ЧАСТИНИ ОСАДОЧНОГО ЧОХЛА (НА ПРИКЛАДІ ДІЛЯНКИ "УЗИН")

За результатами параметричних досліджень фазовим методом викликаної поляризації (ВЕЗ-ВПФ), виконаних поблизу р. Узин, встановлено, що забруднення гасом знижують опір і підвищують поляризованість верхньої частини вміщуючого геологічного середовища. При дослідженнях нафтопродуктових забруднень як провідний рекомендовано завадостійкий метод ВЕЗ-ВПФ в комплексі з інтерпретаційним бурінням, сейсмозондуванням і газовою зйомкою.

As a result of parametric investigation with VES-SPP (stimulated phasal polarisation) carried out nearby river Uzyn was uncovered that kerosene pollution decreases resistability and increases the polarisation of upper part of geological environment. So, as a leading method for petroleum products pollution investigations recommend the hinderless technique VES-stimulated phasal polarisation with parametric drilling, seismic prospecting and gas survey

Підрозділи ПДРГП "Північгеологія" проводять дослідно-виробничі геологорозвідувальні роботи з вивчення інженерно-геологічних, гідрогеологічних і еколого-геологічних умов житлово-промислових агломерацій України. Одним з напрямів геоекологічних досліджень є вивчення нафтопродуктових забруднень геологічного середовища. З цією метою у 2000 р. були виконані дослідно-методичні електророзвідувальні зондування фазовим методом викликаної поляризації (ВЕЗ-ВПФ) у межах ділянок, що охоплюють склад паливно-мастильних матеріалів, 2-ї військової авіабази, розташованої поблизу міста Узин. Цей склад, власне, і є джерелом забруднення нафтопродуктами. За багато десятиріч існування складу в результаті проливів нафтопродуктів і подальшого їх просочування на поверхні ґрунтових вод утворилася лінза гасу потужністю до 2,5 м. Розтікаючись по поверхні підземних вод, лінза досягла басейнів правих приток р. Рось (річок Узин, Червоної та струмка Безіменного), а також населених пунктів, прилеглих до р. Узин, у колодязях яких з'явилися нафтопродукти. Природно, що така вода, забруднена рідкими вуглеводнями, стала непридатною для господарсько-питного водопостачання. Тому потрібно було вживати додаткових заходів з водопостачання м. Узин і прилеглих населених пунктів за рахунок поверхневих вод р. Рось.

Для запобігання подальшого розтікання нафтопродуктів стало необхідним виконання рекультивационних робіт з ліквідації лінзи нафтопродуктів, яка є джерелом забруднення підземних вод, шляхом обладнання очисних свердловин (з одночасним видобутком рідких вуглеводнів). Для оцінки масштабів забруднення і підрахунку запасів нафтопродуктів ПДРГП "Північгеологія" виконало комплекс геологорозвідувальних робіт, на основі яких була оконтурена лінза нафтопродуктів і підрахо-

вані їх запаси. Протягом 1993–1999 рр. з очисних (експлуатаційних) свердловин велося відкачування (видобуток) нафтопродуктів. Видобуток вівся дискретно в часі (після відновлення шару вуглеводнів після кожного чергового відкачування) до стану, коли з емульсійної суміші води і рідкого палива не можна було шляхом сепарації відділити гас від води.

Проливи нафти і нафтопродуктів у даний час є основним чинником забруднення верхньої частини геологічного розрізу. На всіх етапах видобутку, транспортування, переробки і розливу нафти і нафтопродуктів через недосконалість технологічних умов відбувається витік значної частини рідких вуглеводнів. Особливо потужні забруднення виникають у місцях видобування нафти при аваріях на розвідувальних і експлуатаційних свердловинах, при розривах трас нафтопроводів, на нафтопереробних заводах, а також на підприємствах, які у великій кількості споживають нафтопродукти, і т. ін. Методи електророзвідки можуть забезпечити вивчення планового і глибинного поширення рідких вуглеводнів, а також процесів їх міграції.

Відомо, що нафта і нафтопродукти є ізоляторами, але, як свідчить досвід, вони часто викликають появу аномалій зниженого опору, що, імовірно, викликано діяльністю бактерій у верхній частині геологічного середовища [1; 3]. Спеціальні дослідження хімічних змін нафтопродуктів, які відбуваються на невеликих глибинах під впливом бактерій, були виконані в Канаді (Milner et al., 1977; Bailev et al., 1973) [1] і ряді інших місць, зокрема в Хакасії [2; 3]. Установлено, що в результаті бактеріальної дії відбувається утворення вуглеводневих сполук типу асфальтенів і руйнування насичених і ароматичних вуглеводнів. Спостерігається вибіркове видалення більш легких членів цього ряду. Більш важкі нор-

мальні парафіни також піддаються бактеріальній дії. Ще більш важкі, більш конденсовані циклічні вуглеводні на даному рівні розвитку процесу розкладання не піддаються і їх концентрація зростає. Лабораторні експерименти показали, що окиснення нафти починається в перші дні після доступу до неї мікробів і особливо активно проходить у перші три дні. Змінюється питома вага нафти, яка спочатку плаває на поверхні води, а через 21 день утворює осад на дні лабораторної судини (питома вага змінюється з 0,828 до 1 г/см³ і більше). За три дні знижуються значення рН з 7 до 6, що вказує на утворення кислотних компонентів, які підвищують мінералізацію як підземних вод, так і зони аерації. При цьому навколо лінз нафтопродуктів спостерігається підвищення мінералізації (понад 1 г/дм³).

За даними електророзвідувальних досліджень методом ВЕЗ, проведених в Хакасії на одному з об'єктів вуглеводного забруднення геологічного середовища [2], встановлено, що питомі опори насичених нафтопродуктами горизонтів верхньої частини геологічного розрізу у вигляді лінз, які складаються з дизпалива, рівні 4 000–10 000 Ом·м, а з бензину – 100 000–200 000 Ом·м. Опори ж забруднених (ненасичених нафтопродуктами) горизонтів і ділянок мають знижені значення порівняно з чистими. Так, у зоні аерації в результаті забруднення нафтопродуктами відбувається зниження опорів в 6–8 раз, у водонасному горизонті – в 1,5–2 рази, у корінних породах – в 4–5 раз. При розкладанні нафтовмісних продуктів може виділятися сірка, яка, з'єднуючись з природним залізом, утворює сульфід заліза (пірит) [1]. Породини, що містять сульфід заліза, мають підвищену поляризованість і можуть бути виявлені методом викликаного поляризації (ВП). Петербурзькі геофізики вважають, що метод ВП є одним із провідних при вивченні територій вуглеводного забруднення [1]. Найбільш активно метод ВП (у частотному варіанті) використовується фінськими фахівцями для картування ґрунтів, забруднених органічними хімічними речовинами [1].

Дослідно-методичні геофізичні дослідження на ділянці "Узин" виконувалися методом ВЕЗ-ВФ з метою з'ясування можливостей виявлення забруднень нафтопродуктами верхніх горизонтів піщано-глинистих відкладів осадового чохла. Дослідження цим методом проводилися над пошуково-експлуатаційними свердловинами, розташованими в центральній частині лінзи газу. Польові роботи виконані симетричною зворотною установкою АМНВ із згущеними розносами. Використовувався вимірник ЭИИ-204, генераторним пристроєм була генгрупа ВП-Ф, джерелом струму служив бензоагрегат АБ-05-400. Вимірюваними параметрами були амплітуда першої гармоніки сигналу ΔV у приймальній лінії, зміщення фаз φ_n між першою і третьою гармоніками цього ж сигналу (параметр, пропорційний викликаній поляризації: $\eta_n \approx -2.8\varphi_n$), а також сила струму в ланцюзі живлення.

На самому початку польових робіт були отримані в інтервалі частот від 0,6 до 4,8 Гц фазово-частотні характеристики (ФЧХ) над свердловинами 9 і 10 (АВ/2 до 80 м) та в точці спостереження № 123 (АВ/2 до 150 м). На всіх ФЧХ ні із зростанням частоти, ні із збільшенням розносів АВ/2 індукційних явищ не спостерігалось. За робочу вибрана частота $f=0,6$ Гц. Вибір такої робочої частоти зумовлений тим, що найбільш диференційованими графіками були криві зміщення фаз φ_n , отримані на частотах 0,3 і 0,6 Гц, але при $f=0,6$ Гц криві φ_n вимірювалися більш точно. Криві позірної опору ρ_n , отримані на різних частотах, практично не відрізняються одна від одної.

Пошарова інтерпретація кривих ρ_n і перерахованих в η_n значень φ_n здійснювалася в автоматизованому режимі за допомогою програми IPI-1D, розробленої на кафедрі геофізики Московського державного університету. При інтерпретації кривих ρ_n відома за даними бу-

ріння глибина покрівлі високоомних моренних відкладів закріплювалася. Підбір кривих η_n здійснювався в межах шарів, визначених за результатами пошарової інтерпретації кривих ρ_n .

У результаті буріння свердловин (рис. 1) встановлено, що верхня частина розрізу представлена суглинками: сучасного ґрунту потужністю від 0,3 до 1,5 м, верхньоплейстоценовими еолово-делювіальними (бузькими) і елювіальними (вітичевськими – викопний ґрунт), а також середньоплейстоценовими озерно-льодовиковими (дніпровськими). Сумарна потужність цих відкладів становить 6,5–10,5 м. Нижче залягають суглинки записовані, карбонатні з гравієм і галькою кристалічних порід – моренні відклади середньоплейстоценові, дніпровські, які є місцевим водоупором.

За даними свердловини 20/2141, пробуреної у 1960 р. на відстані 1,7 км західніше с. Ромашки (Рокитнянський район Київської обл.), під льодовиковими відкладами залягають бучакські грубозернисті сірі піски, слабглинисті, вуглисті потужністю 23 м і алеврити темно- та буро-сірі до чорних, слюдяні, сильновуглисті потужністю 7 м і менше. З глибини 52 м розкриваються вивітрілі мігматити тонкосмугасті, біотит-роговообманкові і граніти рожево-сірі, середньозернисті до крупних, біотитові, катаклазовані.

Рівень ґрунтових вод (РГВ) знаходиться на глибинах від 6,3 до 8,23 м. Вище РГВ поширена суміш води з газом. Дані (за станом на червень 1994) про наявність газу були лише у свердловинах №№ 1 (потужність шару газу 2,3 м), 2 (0,6 м), 3 (0,1 м), 4 (2,0 м), 5 (0,9 м), 7 (2,1 м), 9 (0 м), 10 (2,5 м), 15 (1,0 м), 16 (1,0 м). Рівень газу знаходився на глибинах від 5,7 до 7,2 м. Шар газу був поширений переважно в дніпровських озерно-льодовикових відкладах, потужність яких змінюється від 0,9 до 6,0 м. За даними резистивиметричних вимірів водних проб, відібраних із свердловин 2, 11а, 13, 16 і колодязя біля блокпосту на 8-му кілометрі, суміш води і газу, залежно від вмісту останнього, має низький опір (від 3 до 12 Ом·м), тоді як питна вода з водоводу від військової частини має опір близько 20 Ом·м.

Криві ρ_n , отримані з розносами АВ/2 до 150 м, є шестишаровими типу КНКН. Перший, верхній, шар відповідає найбільш зволоженням атмосферними опадами суглинкам сучасного ґрунту і бузьких еолово-делювіальних відкладів. Потужність шару, за даними інтерпретації ВЕЗ, змінюється від 0,28 до 0,40 м, питомий опір – від 22 до 31 Ом·м, поляризованість – в межах 0,82–1,33 %.

Другий геоелектричний горизонт, вірогідно, пов'язаний з "сухим шаром" вищезгаданих суглинків, що знаходиться в зоні аерації. Потужність другого шару підвищених опорів (80–115 Ом·м) коливається в межах від 0,92 до 1,80 м. Поляризованість змінюється від 0,70 до 1,46 %.

Третій геоелектричний шар знижених опорів відповідає суглинкам нижніх найбільш зволжених горизонтів зони аерації і обводнених порід, розташованих нижче рівня ґрунтових вод. Питомий опір третього шару знаходиться в межах від 12,4 до 19,9 Ом·м, поляризованість змінюється від 1,19 до 2,33 %, потужність коливається від 5,27 до 9,31 м. У цьому геоелектричному горизонті знаходиться газ, який в суміші з водою знижує опір вмшуючих порід.

Четвертий геоелектричний шар підвищених опорів (від 18,2 до 36,1 Ом·м) зумовлений моренними піскуватими суглинками з гравієм та галькою кристалічних порід і, можливо, бучакськими грубозернистими пісками. Потужність шару за даними інтерпретації кривих ВЕЗ становить ориєнтовно 25 м. Поляризованість змінюється від 0,46 до 2 %.

П'ятий геоелектричний горизонт знижених опорів (від 11,6 до 26 Ом·м) відповідає, очевидно, бучакським вуглистим алевритам і має потужність близько 25 м. Поляризованість шару знаходиться в межах від 1,07 до 1,72 %.

Шостий геоелектричний шар представлений, швидше за все, кристалічними породами фундаменту з питомими опорами в кілька десятків і перші сотні Ом м, характерними для амфіболових або графітованих гнейсів і сланців.

Таким чином, на кривих ρ_n на фоні знижених опорів, спричинених впливом зволжених сучасних ґрунтів та верхньо- і середньоплейстоценових еолово-делювіальних (бузьких), елювіальних (вітичевських) і озерно-делювіальних (дніпровських) суглинків і вуглих алевритів бучака, виділяються підвищеними опорами "найсухіша частина" зони аерації, а також дніпровські моренні відклади, представлені запискованими суглинками з

гравієм і галькою кристалічних порід, об'єднувані, очевидно, з грубозернистими бучакськими пісками. Кристалічні породи відмічаються відносно високими опорами. Рівень ґрунтових вод на кривих ρ_n не відображається. Шар гасу, в зв'язку, очевидно, з його відсутністю у чистому вигляді, окремого геоелектричного горизонту не утворює, а суміш води і гасу знижує опір третього горизонту, в межах якого ця суміш поширена. На розрізі ізоом (рис. 1) в місцях, де потужність гасу понад 2 м, мінімальні опори $\rho_{\min}$ мають значення менше 20 Ом м (свердловини 1, 4, 7, 10).

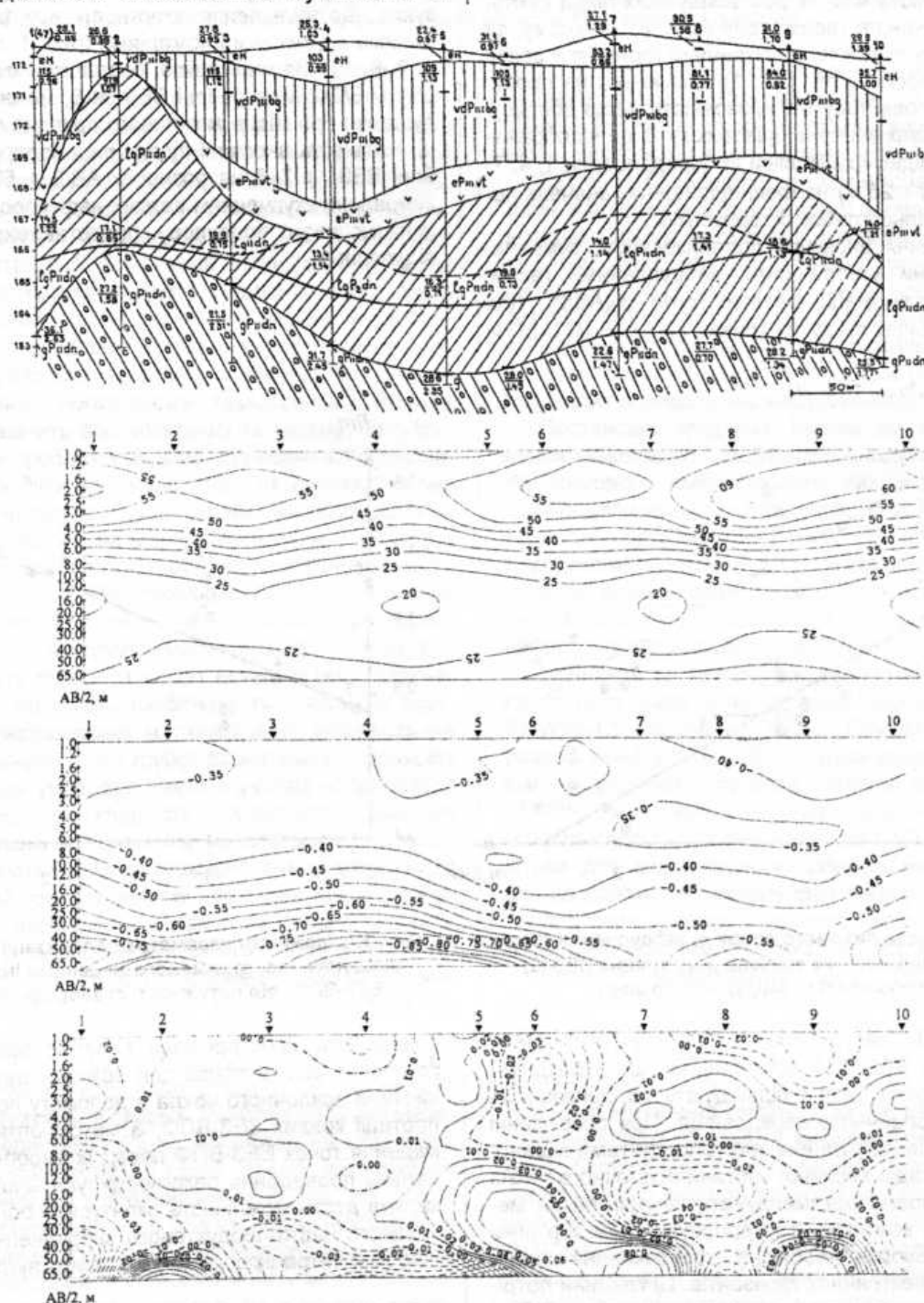


Рис. 1. Результати параметричних досліджень методом ВЕЗ-ВФ на ділянці "Узин":

а – геолого-гідрогеологічний розріз по лінії свердловин 1-10; б – розріз ізоом ρ_n ; в – розріз значень фазових кутів ϕ_n ;

г – розріз трансформованих значень фазових кутів $\delta\phi_n$

Умовні позначення: еН – ґрунт сучасний – суглинок темно-сірий, гумусований; vdPmbg – суглинки палеві, легкі, лесоподібні, карбонатні; ePmvt – ґрунт похований – суглинки бурі, сірі, легкі до середніх, середні, тугопластичні; lgPdn – надморенні відклади – суглинки жовто-сірі, зеленувато-сірі, м'якопластичні; gPdn – моренні відклади – суглинки сірі, буро-сірі, щільні, з лізсами піску, з гравієм і галькою кристалічних порід; – межі стратиграфічних комплексів; положення рівня: — ґрунтових вод, -- гасу; ↑ – свердловини; ▼ – точки ВЕЗ-ВФ; за даними ВЕЗ-ВФ: – границі геоелектричні, – значення: в чисельнику – опорів в Ом м, в знаменнику – поляризованості в %

Кількісна інтерпретація кривих ВЕЗ виявила кореляцію між потужністю m забрудненого газом шару і опором вміщуючих його порід ρ_z (рис. 2). Кореляція має місце також між мінімальними значеннями позірною опором $\rho_{\Pi min}$ спостережених кривих ВЕЗ і тою ж потужністю газопового шару m (рис. 2). Між поляризівністю $\eta_{\Pi z}$ третього геоелектричного горизонту, що вміщує забруднений газом шар порід, отриманий на основі кількісної інтерпретації ВЕЗ-ВПФ, і його потужності m існує також пряма кореляційна залежність (рис. 3), але вона слабша, ніж залежність між опором вміщуючих порід і потужністю забрудненого газом шару (рис. 2). У цілому, за відсутності газу третій геоелектричний горизонт у розрізі значень фазових кутів (рис. 1) аномально не проявляється. При появі газу поляризівність дещо збільшується. На розрізах значень фазових кутів це відображається деяким підйомом ізолейн φ_{Π} (свердловини 1, 4, 7-8, 10; $AB/2 \approx 10 \div 25$ м) на фоні підвищених значень поляризівності більш глибоких горизонтів.

Для виділення аномалій поляризівності, зумовлених осадовими утвореннями, забрудненими газом, виконані трансформації фазових кутів $\varphi_{\Pi}(AB/2)$. Для цього по значеннях фазових кривих $\varphi_{\Pi}(AB/2)$ ВЕЗ-ВПФ,

розташованих у місцях мінімальної потужності газопового шару (рис. 1, точки ВЕЗ-ВПФ № 2, 6 і 9) розрахована середня крива $\varphi_{\Pi}^{сеп}(AB/2)$, яка більшою мірою зумовлена поляризацією відносно чистих осадових утворень. Потім були обчислені залишкові аномалії $\delta\varphi_{\Pi}(AB/2)$ в кожній точці ВЕЗ-ВПФ на всіх розносах шляхом віднімання із спостереженої кривої $\varphi_{\Pi}(AB/2)$ середньої $\varphi_{\Pi}^{сеп}(AB/2)$ і побудований розріз трансформованих значень фазових кутів $\delta\varphi_{\Pi}$ (рис. 1).

Трансформовані значення фазових кутів $\delta\varphi_{\Pi}$ показують, що збільшення потужності газу фіксується локальними від'ємними аномаліями (рис. 1, свердловини 1, 4, 7-8, 10). За аномалією, розташованою вище по розрізу ($AB/2 < 6$ м) в районі ВЕЗ № 6, можна зробити припущення про місце можливого припливу газу з поверхні. Наявність аномалії підвищеної поляризівності в районі ВЕЗ № 3-5 на розносах $AB/2 > 50$ м може бути зумовлено скупченням важких нафтопродуктів на поверхні місцевого водоупору, представленого моренними відкладами.

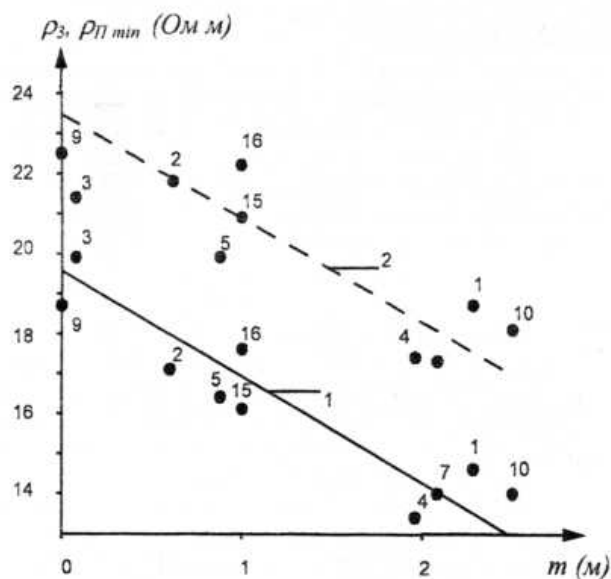


Рис. 2. Залежність питомого опору ρ_z забруднених газом порід (1) і мінімальних значень $\rho_{\Pi min}$ кривих ВЕЗ (2) від потужності m забрудненого шару

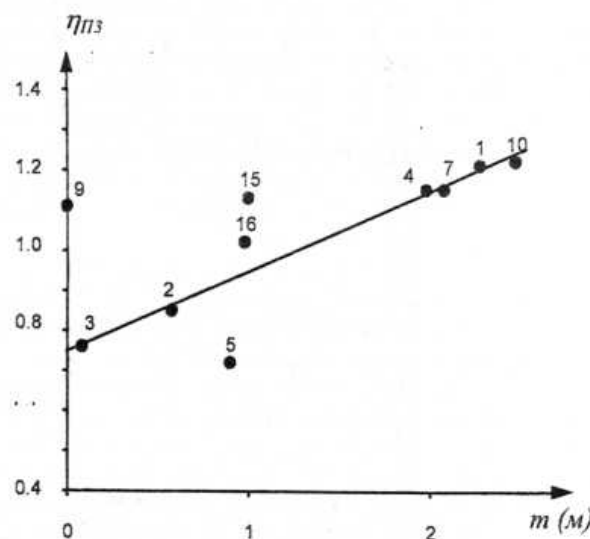


Рис. 3. Залежність параметра поляризації $\eta_{\Pi z}$ порід, що вміщують газ, отриманого за даними інтерпретації ВЕЗ-ВПФ, від потужності m забрудненого шару

Висновки. За результатами параметричних досліджень методом ВЕЗ-ВПФ встановлено, що забруднення газом знижують опір і підвищують поляризівність вміщуючого геологічного середовища. При розв'язанні задач виявлення забруднень нафтопродуктами піщано-глинистих відкладів верхньої частини осадового чохла як провідний можна рекомендувати завадостійкий метод ВЕЗ-ВПФ у комплексі з інтерпретаційним бурінням по рідкій сітці. Буріння необхідне для уточнення глибин залягання геоелектричних горизонтів. Ці глибини потрібно використовувати при автоматизованому підборі кривих ρ_{Π} і φ_{Π} з метою більш точного визначення опорів і поляризівності осадових утворень, що вміщують нафтопродукти. При необхідності побудови прогнозних карт глибин залягання покрівлі і підшови газопового шару рекомендується залучення сейсморозвідки по розрі-

дженій сітці спостережень з метою визначення рівня ґрунтових вод, а також для розчленовування верхньої частини осадового чохла в допомогу пошаровій інтерпретації кривих ВЕЗ-ВПФ. З метою оптимального розміщення точок ВЕЗ-ВПФ перед їх виробництвом раціональне проведення рекогносцирувальної газової зйомки, яка дасть можливість оконтурити область передбачуваного нафтопродуктового забруднення за підвищеною концентрацією метану і діоксиду вуглецю.

1. Геоэкологическое обследование предприятий нефтяной промышленности / Под ред. В.А.Шевнина и И.Н.Модина – М., 1999. 2. Пляшко В.Н., Митник М.М., Вульфсон Л.В. // Геотермические поиски полезных ископаемых – К., 1979. – С. 94–100. 3. Пустозёров М.Г. Комплекс геофизических методов для изучения углеводородного загрязнения геологической среды // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2001. – № 4. – С. 375–384.