

С. Выжва, д-р геол. наук, проф., vsa@univ.kiev.ua  
 Д. Онищук, асп., boeerges@ukr.net  
 М. Рева, канд. физ.-мат. наук, доц., mvreva@gmail.com  
 В. Онищук, канд. геол. наук, ассист., vitus16@ukr.net  
 Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко  
 Геологический факультет, ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

## КОМПЛЕКСНЫЕ ПЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ИЗВЕСТНЯКОВ ДЕВОНА И ПЕСЧАНИКОВ КЕМБРИЯ ДОБРОТВИРСКОЙ ПЛОЩАДИ ВОЛЫНО-ПОДОЛЬЯ

Рассматриваются особенности методики и результаты петроэлектрических исследований при изучении сложнопостроенных карбонатных и терригенных коллекторов. Приведены результаты определения электрических параметров и их связь с емкостными свойствами известняков девона и песчаников кембрия Добровиурской площади Волыно-Подолья. Целью проведенных исследований была разработка и создание петроэлектрических моделей пород-коллекторов, как основы комплексного анализа их электрических параметров и связей с емкостно-фильтрационными свойствами. Сведения об удельном электрическом сопротивлении пород-коллекторов используются для уточнения пределов его изменения для отдельных типов и групп пород; выделения отдельных стратиграфических горизонтов, разрезов и фаций; установления характера его зависимости от минерального состава, структуры порового пространства, соотношения фаз вещества, частоты и напряженности электрического поля; выявления характера изменения электрического сопротивления при эпигенетическом превращении и метаморфических изменениях горных пород. Материалы лабораторных исследований удельного электрического сопротивления пород используются при интерпретации результатов электрометрических методов исследований скважин и полевой электроразведки. Комплекс петрофизических лабораторных исследований включал определение: плотности исследованных пород (сухих и насыщенных моделью пластовой воды); открытой пористости (методами насыщения азотом и моделью пластовой воды); коэффициента остаточного водонасыщения (методом центрифугирования); проницаемости (методом стационарной фильтрации азота); интервального времени (скорости продольных упругих волн) и удельного электрического сопротивления. В процессе лабораторных работ определялось удельное электрическое сопротивление образцов пород при разных условиях (сухие, частично и полностью насыщенные раствором-имитатором пластового флюида) в атмосферных условиях, а также в условиях приближенных к пластовым. В результате выполненных лабораторных исследований изучены петроэлектрические параметры песчаников кембрия и известняков девона Добровиурской площади, установлены эмпирические корреляционные зависимости между петроэлектрическими параметрами и емкостно-фильтрационными свойствами исследованных пород, которые служат основой геологической интерпретации геофизических данных. Эти зависимости аппроксимируются в большинстве случаев степенной функцией. Анализ приведенных данных свидетельствует о том, что электрометрические методы являются мощным средством как лабораторных, так и полевых исследований, достаточно эффективны и предоставляют широкую и ценную информацию о свойствах пород.

Ключевые слова: исследование керна, фильтрационно-емкостные параметры, электрические параметры, поровое пространство, корреляционные зависимости, песчаник, известняк, пористость, удельное электрическое сопротивление, давление, проницаемость, петроэлектрические параметры.

УДК 550.344

Е. Козловський, пров. інж.,  
 Д. Малицький, д-р фіз.-мат. наук, проф.,  
 E-mail: dmytro@cb-igph.lviv.ua,

А. Павлова, асп. проф.,  
 Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна  
 Національної Академії Наук України,  
 вул. Наукова, 3-б, м. Львів, Україна, 79060

## РОЗРАХУНОК ТА АНАЛІЗ АЗИМУТАЛЬНИХ КОЕФІЦІЄНТІВ $Q$ , ТА УТОЧНЕННЯ ШВИДКІСНОЇ МОДЕЛІ ЗАКАРПАТСЬКОГО СЕЙСМОАКТИВНОГО РЕГІОНУ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. С.А. Виживою)

Метою представленої роботи є уточнення швидкісної моделі Закарпатського сейсмоактивного регіону для подальшого її використання у нейронно-мережевому моделюванні для розв'язання задачі розрахунку та уточнення глибини залягання джерел місцевих землетрусів. Проведено аналіз поведінки поширення сейсмічних хвиль в різних напрямках Закарпатського сейсмоактивного регіону. Обґрунтовано введення азимутального коефіцієнта  $q_i$  для застосування у навчачій вибірці нейронної мережі, як параметру, що відповідає за напрямок поширення хвилі в реальному середовищі. Показано два способи виділення секторів коли за основу взято або сейсмостанцію, або область сейсмічних подій. Обчислені середні значення азимутального коефіцієнта  $q_i$  для відповідних секторів із близькими значеннями  $q_i$  для одно-, дво- та три-шароватого середовища у відповідності до глибини розташування вогнища землетрусу в першому, другому або в третьому шарі. Оскільки три-шарувате середовище охоплює глибини знаходження джерел землетрусів до 8000–9000 м, то проведені розрахунки повністю відображають місцеві сейсмічні події Карпатського регіону. Розрахунок середніх потужностей шарів  $h$  та середніх швидкостей шарів  $v$  обчислювались окремо для кожної пари E-S (епіцентр-сейсмостанція). Для розрахунку азимутального коефіцієнта  $q_i$  третього шару використано метод умовного об'єднання шарів. Представлено розрахунки, які виконані для прямої P-хвилі (аналогічні розрахунки можна зробити і для S-хвилі). Обчислена відносна похибка розрахунку середнього значення азимутального коефіцієнта  $q_i$  для кожного сектору, який проведено на основі 4–26 подій для відповідних секторів в залежності від наявної кількості даних про події, які вибрано із сейсмологічних бюлетенів. Проведено інтерпретацію отриманих результатів та розглянуто варіанти використання даної методики. На прикладах показано використання азимутального коефіцієнта  $q_i$  для аналізу параметрів середовища.

Ключові слова: Закарпатський сейсмоактивний регіон; азимутальний коефіцієнт  $q_i$ ; навчача вибірка нейронної мережі; середня швидкість поширення хвилі в шарі; глибина розташування джерела землетрусу; прямі P та S-хвилі; пари E-S (епіцентр-сейсмостанція); умовна швидкість проходження хвилею об'єднаних шарів.

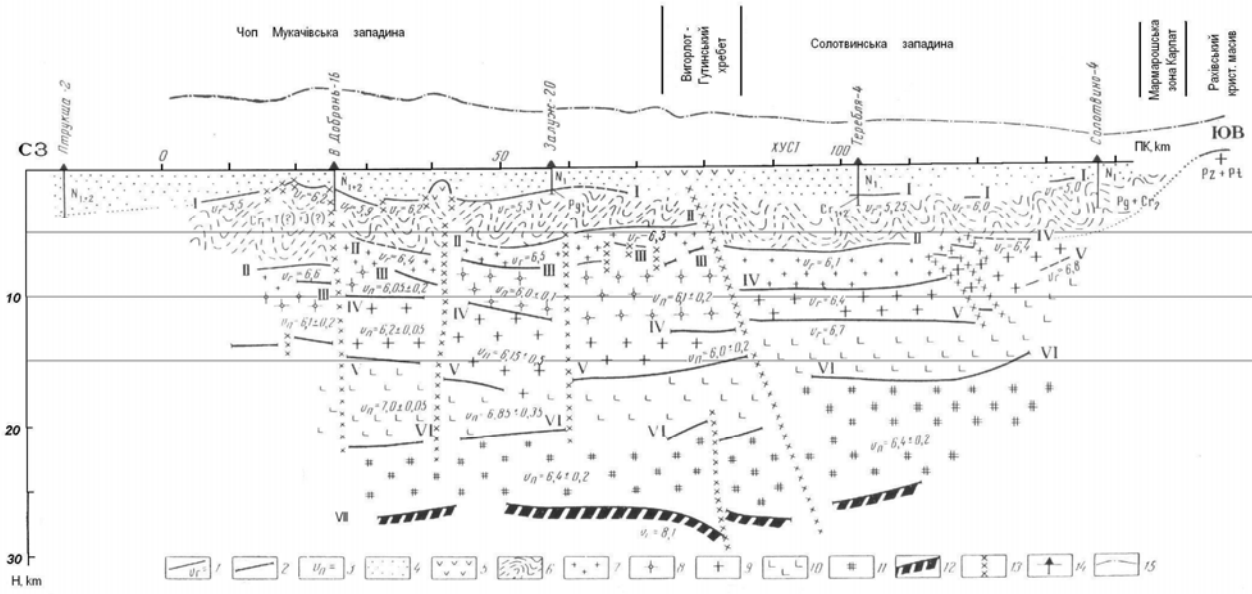
**Вступ.** Метод визначення координат епіцентру та розрахунку глибини залягання джерела землетрусу, що зареєстрований 4-ма та більшою кількістю сейсмічних станцій, є відомим і не потребує опису. Але з різних технічних причин не завжди вдається зафіксувати землетрус необхідною кількістю сейсмічних станцій і, відповідно, розрахувати глибину залягання джерела сейсмічної події. Проте, таку можливість може надати застосування іншого підходу, а саме, використання статистичного аналізу для розрахунку глибини залягання джерела землетрусу.

Представлена робота є лише першим кроком розв'язання задачі розрахунку та уточнення глибини залягання джерел місцевих землетрусів Закарпатського сейсмоактивного регіону. У даній статті показані результати розрахунків для одно-, дво- та три-шарового середовища (глибина до 8000–9000 м), для яких відомі глибини залягання вогнищ землетрусів, що повністю охоплюють місцеві сейсмічні події Карпатського регіону.

Одним з інструментів статистичного аналізу є мережі штучних нейронів. Для того, щоб отримати якісний

результат нейронно-мережевого моделювання, необхідно розглянути достатню кількість прикладів та відповідних їм розв'язків для навчання нейронної мережі, тобто встановлення та запам'ятовування закономірностей, що пов'язують їх між собою. Такими прикладами слугували дані землетрусів, що зареєстровано в районі

Закарпаття, які описано в сейсмологічних бюлетенях за 2002–2011 рр [1]. Модель середовища, яку надалі використано для роботи, побудована на основі даних сейсмо-геологічного розрізу земної кори вздовж Закарпатського прогину (рис. 1) [2].



1 - заломлюючі горизонти із зазначеними граничними швидкостями ( $V_p$ ), 2 - відбиваючі горизонти і їх номери, 3 - пластова швидкість, 4 - неогенова моласа, 5 - вулканіти в осадовому чохлі, 6 - мезозойсько-палеогенова складчата основа прогину, 7 - палеозойський (?) метаморфізований фундамент, 8 - шар пониженої швидкості в середині "граніту", 9 - докембрійський (?) кристалічний комплекс, 10 - "базальто-вий" шар, 11 - шар пониженої швидкості в основі земної кори, 12 - розділ Мохоровича, 13 - розломи, 14 - бурові свердловини, 15 - крива  $\Delta g$ .

Рис. 1. Сейсмо-геологічний розріз земної кори вздовж Закарпатського прогину

**Викладення основного матеріалу.** Працюючи з реальним, неоднорідним середовищем Закарпатського сейсмоактивного регіону, та аналізуючи поведінку поширення сейсмічних хвиль в різних напрямках, дійшли висновку про необхідність введення додаткового параметру для нейронної мережі, який би відповідав за зміну швидкості поширення хвилі з різних напрямків (різні пари епіцентр-сейсмостанція (E-S)). У роботі F.C. Lin [3] американськими науковцями використано моделі, в яких швидкості поширення сейсмічних хвиль залежні від азимуту, а в статті H.K.C. Perry [4] описано роботу канадських сейсмологів, які працюють з моделями типу LITH5.0, де використано зміну швидкостей і інших параметрів на сітці  $5^\circ \times 5^\circ$  та в середині кожної такої клітинки, завдяки великій кількості сейсмічних станцій та зареєстрованих ними сейсмічних подій. У зв'язку з обмеженою кількістю сейсмостанцій, що є характерним для Закарпаття, слід шукати інший підхід. Так як швидкості поширення сейсмічних хвиль в різних напрямках суттєво відрізняються і математично прив'язати азимут, як компоненту навчаючої вибірки прикладів для мережі штучних нейронів є неможливим, то було введено інший параметр, що відповідає за напрямок поширення хвилі – азимутальний коефіцієнт  $q_i$ .

Перейдемо до визначення параметра  $q_i$  із врахуванням різних глибин залягання вогнища землетрусу, тобто розміщення джерела в першому, другому або в третьому шарі.

У даній роботі представлено розрахунки, які виконані для прямої P-хвилі (аналогічні розрахунки можна зробити і для S-хвилі).

Розглянемо випадок, коли джерело сейсмічних хвиль розташоване в першому шарі (рис. 2). Вважаємо шляхи проходження хвилі в реальному та модельованому середовищах рівними.

Згідно з рис. 2 отримано співвідношення:

$$S = \sqrt{\varepsilon^2 + h_1^2}, \quad t_{c1} = S/v_1, \quad t_{c1}/t_r = q_1, \quad v_{a1} = v_1 q_1, \quad (1)$$

де  $h_1$  – потужність першого шару,  $v_1$  – швидкість в 1-му шарі (взята із сейсмо-геологічного розрізу (рис. 1),  $\varepsilon$  – епіцентрально відстань,  $t_r$  – час проходження хвилі (взятий із бюлетеня),  $t_{c1}$  – розрахований час,  $q_1$  – азимутальний коефіцієнт,  $v_{a1}$  – уточнена швидкість для першого шару.

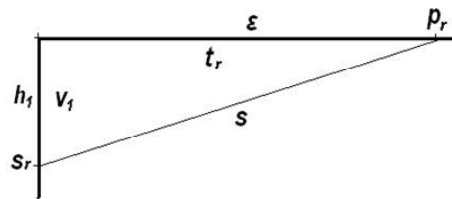


Рис. 2. Проходження прямої P-хвилі від джерела  $S_r$ , яке розміщене в першому шарі

Таким чином, отримано азимутальний коефіцієнт  $q_1$  та уточнену швидкість  $v_{a1}$  для першого шару згідно (1).

Наступним кроком є отримання азимутального коефіцієнта, коли джерело розміщене в другому шарі. Розглянемо задачу знаходження точки перетину P-хвилею границі між першим та другим шаром для двохшарового середовища (рис. 3). Маючи епіцентрально відстань  $\varepsilon$ , потужність першого шару  $h_1$ , відстань до джерела в другому шарі  $h_2$ , швидкості поширення P-хвилі в першому та другому шарі  $v_{a1}$  (уточнена швидкість для першого шару) та  $v_2$  (швидкість взята із сейсмо-геологічного розрізу (рис. 1), а також час приходу хвилі  $t_r$  (згідно бюлетеня), знаходимо величину  $x$  (рис. 3).

Для цього проведемо математичні операції:

$$t = t_1 + t_2, \quad t_1 = \frac{l_1}{v_{a1}}, \quad t_2 = \frac{l_2}{v_2},$$

$$l_1 = \sqrt{x^2 + h_1^2}, \quad l_2 = \sqrt{(\varepsilon - x)^2 + h_2^2} \quad (2)$$

де  $t_1, t_2$  – часи проходження  $P$ -хвилі в 1-му та 2-му шарах,  $h_1, h_2$  – шляхи проходження  $P$ -хвилі в 1-му та 2-му шарах.

$$t_{c2} = \frac{\sqrt{x^2 + h_1^2}}{V_{a1}} + \frac{\sqrt{(\varepsilon - x)^2 + h_2^2}}{V_2} \quad (3)$$

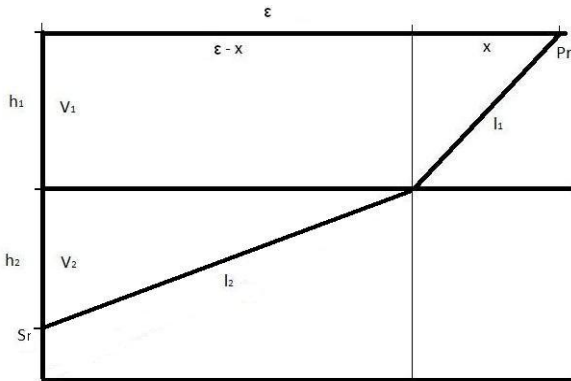


Рис. 3. Проходження прямої  $P$ -хвилі від джерела  $S_r$ , яке розміщене в другому шарі

Отримуємо рівняння

$$Bx^4 - Cx^3 + Dx^2 + Ix + E = 0, \quad (4)$$

де  $A = \varepsilon^2 + h_1^2 + h_2^2$ ,  $B = \frac{V_{a1}^4 - 2V_{a1}^2V_2^2 + V_2^4}{V_{a1}^4V_2^4}$ ,  $C = \frac{4\varepsilon}{V_2^2} \left( \frac{V_{a1}^2 + V_2^2}{V_{a1}^2V_2^2} \right)$ ,

$$D = \frac{6\varepsilon^2 + 2h_2^2}{V_2^2} - \frac{2A}{V_{a1}^2V_2^2} - 2t^2 \frac{V_{a1}^2 + V_2^2}{V_{a1}^2V_2^2} + \frac{2h_1^2}{V_{a1}^2}$$

$$I = \frac{4t_r^2\varepsilon}{V_2^2} - \frac{4\varepsilon^3 + 4\varepsilon h_2^2}{V_2^2} + \frac{4\varepsilon h_1^2}{V_{a1}^2V_2^2}$$

$$E = \left( \frac{\varepsilon^2 + h_2^2}{V_2^2} - \frac{h_1^2}{V_{a1}^2} \right) - 2t_r^2 \frac{V_2^2 h_1^2 + V_{a1}^2 (\varepsilon^2 + h_1^2)}{V_{a1}^2 V_2^2} + t_r^4 \quad (5)$$

Таким чином, отримано час проходження хвилі в другому шарі  $t_2$  та розрахований час проходження хвилі в цьому ж шарі  $t_{c2}$  (згідно сейсмо-геологічного розрізу) і знайдено азимутальний коефіцієнт  $q_2$  та уточнену швидкість  $v_{a2}$  проходження хвилі в другому шарі.

$$q_2 = \frac{t_{c2}}{t_2}, \quad v_{a2} = v_2 q_2 \quad (6)$$

Слід зазначити, що середня потужність шару  $h_1$ , середні швидкості шарів  $v_1$  та  $v_2$  обчислювались для кожної пари  $E-S$  (епіцентр-сейсмостанція), використовуючи значення глибин і швидкостей із сейсмо-геологічного розрізу (рис. 1).

Наступним кроком є інтерпретації отриманих результатів. Розглянуто два варіанти, які використано в даній методиці. У першому варіанті за основу беремо станцію та виділяємо сектори до скупчення епіцентрів сейсмічних подій (нанесених на карту Закарпатської області), які зафіксовано за період з 2002 по 2011 р (рис. 4). Такі рисунки можна зробити для кожної сейсмостанції. Цей варіант є цікавий для сейсмологам для аналізу параметрів середовища навколо кожної із сейсмостанцій. Блакитним кольором показано скупчення епіцентрів сейсмічних подій. Стрілка вказує на напрямки  $E-S$ . Сектори з близькими значеннями  $q_i$  показані однаковим кольором. Над стрілкою (чорним кольором) вказано середнє значення азимутального коефіцієнта першого шару  $q_1$  для даного сектору, під стрілкою (синім кольором) – середнє значення  $q_2$  для другого шару. Відносна похибка розрахунку середнього значення азимутального коефіцієнта  $q_i$  для одного сектору змінюється в межах від 0,5% до 6% для різних секторів. Розрахунок середнього значення  $q_i$  проведено на основі 4-26 подій для кожного сектора в залежності від наявної кількості даних про події, які вибрано із сейсмологічних бюлетенів.

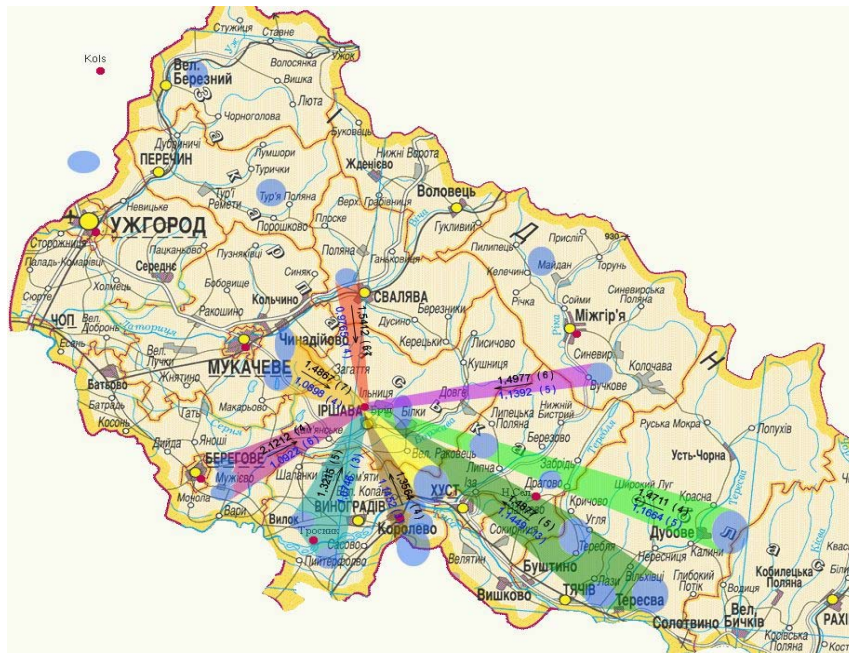


Рис. 4. Спосіб виділення секторів: за основу взято станцію та виділено сектори до скупчення епіцентрів сейсмічних подій

У другому варіанті за основу беремо область сейсмічних подій і виділяємо сектори до сейсмостанцій, як показано на рис. 5.

Для подальших досліджень розглянуто другий варіант, так як необхідно виділити сектори, які охоплюють області сейсмічних подій із близькими значеннями ази-

мутальних коефіцієнтів  $q_i$ , а також станції, що реєструють ці події (рис. 8).

Наприклад, виділяємо сектор, що охоплює області сейсмічних подій біля Тересви, Тячева, Теремлі, Углі, Хуста, Мукачєвого та відповідні станції реєстрації: NSL, BRI, MUKU, UZH.

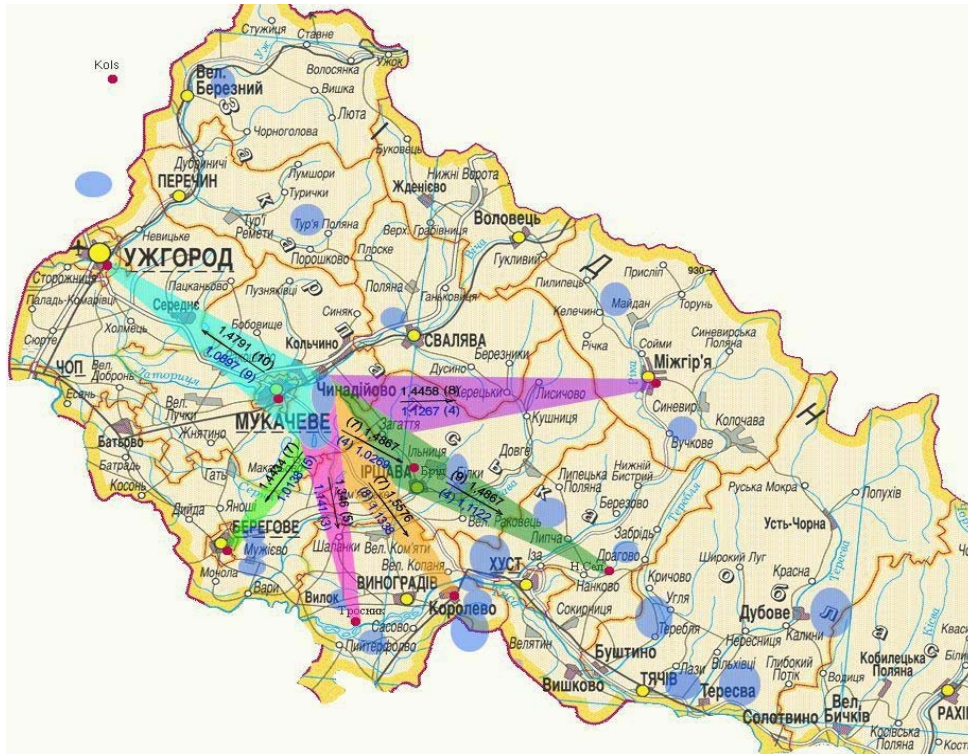


Рис. 5. Спосіб виділення секторів: за основу взято область сейсмічних подій і виділено сектори до сейсмостанцій

Наступний крок – джерело розміщене в третьому шарі. Для цього випадку приведено наступні міркування. Розраховуючи значення  $x$  згідно (4) для двох шарів, отримуємо рівняння полінома 4-го степеня. Якщо рахувати  $x$  для трьох шарів аналогічним методом ми отримаємо рівняння 28-го степеня, що зробить досить важким вибір потрібного розв'язку рівняння та приведе до суттєвого збільшення похибки. Тому був використаний, так званий, метод "китайської вежі" – умовне об'єднання першого та другого шарів.

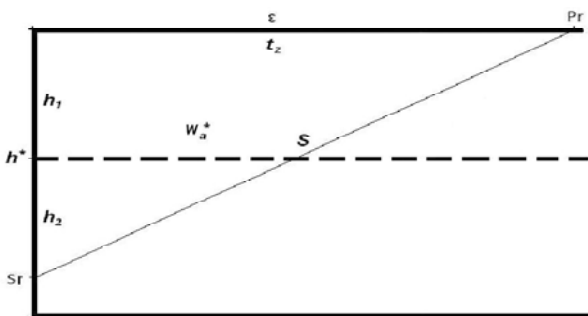


Рис. 6. Модель середовища, коли використано умовне об'єднання першого та другого шарів

Для обчислення умовної швидкості проходження хвилею об'єднаних 1-го та 2-го шарів зробимо наступні розрахунки:

$$h^* = h_1 + h_2, \quad S = \sqrt{\varepsilon^2 + h^{*2}}, \quad w_a^* = S/t_z, \quad (7)$$

де  $w_a^*$  – умовна швидкість проходження хвилею об'єднаних 1-го та 2-го шарів.

Таким чином, можна розглядати перший і другий шари як один із умовною швидкістю проходження хвилі  $w_a^*$  та далі розв'язувати задачу для двох шарів (рис. 7).

Отже, у рівняннях (5) замінюємо величини  $h_1, l_1, v_1, l_2, h_2$ , як показано у (8) та отримуємо розв'язки рівняння (4) для задачі три-шарового середовища.

$$h_1 \rightarrow h^*, \quad l_1 \rightarrow L^*, \quad v_1 \rightarrow w_a^*, \quad l_2 \rightarrow L_3, \quad h_2 \rightarrow h_3 \quad (8)$$

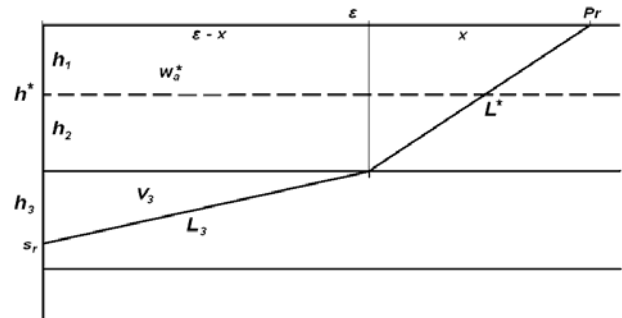


Рис. 7. Проходження прямої P-хвилі від джерела  $Sr$ , яке розміщене в третьому шарі з використанням методу "китайської вежі"

Таким чином, для різних моделей середовища у залежності від глибини залягання вогнища землетрусу побудовано методика визначення азимутальних коефіцієнтів  $q_i$  у випадку розміщення джерела в першому, другому або третьому шарі. Отримані результати продемонстровано на рис. 8.

Аналізуючи величину азимутального коефіцієнта  $q_i$ , можна зробити наступні висновки:

1. у секторі Тячів, Теремля, Угтя – NSL, BRI, MUK, UZH (рис. 8) азимутальний коефіцієнт першого шару  $q_1=1,4877$ , а в тому ж секторі від Тересви параметр  $q_1=0,9732$  при  $q_2=1,063$  для обох випадків. Отже, між Тересвою та Тячевом-Тереблею у першому шарі можлива аномалія, швидкість якої більша швидкості першого шару;

2. у секторі Дубове, Теремля, Угтя, Королево, Тросник, Берегове – KOR, TRS, BER (рис. 5), біля Королево та Берегове в першому шарі знаходяться області з великою пластичністю ( $q_1 > 2$ );

3. у секторі Берегове, Тросник, Королево, Хуст – TRS, KOR, NSL для пари Хуст–NSL,  $q_2$  зростає з глибиною ( $h=4000 - q_2=1,0893, h=4700 - q_2=1,1270, h=6000 - q_2=1,2384$ ), що свідчить про уцілювання породи, а для пари Хуст-TRS ( $h=4000 - q_2=1,2961, h=4700 -$

$q_2=1,0740$ ,  $h=6000$  –  $q_2=1,0210$ ), навпаки – наявність завади, у якій швидкість зменшується з глибиною;

4. у секторі Свалява – BRI, KOR  $q_2= 1,001$ ,  $0,95201$ ,  $1,17692$ ,  $1,05068$ ,  $1,0335$  пара у Мукачеве – NSL,  $q_1=1,5173$ ,  $1,5353$ ,  $1,8363$ ,  $1,5370$ ,  $1,4801$ , спостерігаємо "випадання" в обох випадках величини

азимутального коефіцієнта із загальної картини через можливі помилки в даних бюлетеня, що потребує додаткового дослідження.

У пунктах 1–4 показано лише частину прикладів, як за допомогою азимутальних коефіцієнтів  $q_i$  можна досліджувати середовище.



Рис. 8. Приклад виділення секторів  
Червоним кольором вказані швидкості проходження хвилі в третьому шарі.

**Висновки.** Таким чином, у запропонованій роботі введено азимутальний коефіцієнт  $q_i$  для застосування у навчаючій вибірці нейронної мережі як параметра, що відповідає за напрямок поширення хвилі в реальному середовищі для Закарпатського сейсмоактивного регіону. Обчислені середні значення азимутального коефіцієнта для відповідних секторів із близькими значеннями  $q_i$  для одного, двох та трьох шарів та здійснено його використання для аналізу параметрів середовища. Уточнена швидкісна модель для Закарпатського сейсмоактивного регіону. Із збільшенням кількості опрацьованих даних сейсмічних бюлетенів, будуть уточнюватись і середні значення азимутальних коефіцієнтів  $q_i$  для всіх секторів. Отримані результати будуть використані для визначення, наприклад, глибини залягання вогнища землетрусу, використовуючи нейронно-мережеве моделювання, що буде показано в наступних публікаціях.

**Список використаних джерел:**

1. Сейсмологический бюллетень Украины (2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011). Севастополь, НПЦ "ЭКОСИ-Гидрофизика". Seismological Bulletin of Ukraine, (2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011). Sevastopol, RPC "ECOSI-Hydrophysics" (In Russian).
2. Чекунов А.В., Ливанова Л.П., Гейко В.С., (1969). Глубинное строение земной коры и некоторые особенности тектоники Закарпатского прогиба. Сов. Геология, 57-69.  
Chekunov A., Livanova L., Geiko V., (1969). Deep crustal structure and tectonics of some features of the Transcarpathian deflection. *Sov. Geology*, 57-69.
3. Lin F., Ritzwoller M., Yang Y., Moschetti M., Fouch M., (2010). The stratification of seismic azimuthal anisotropy in the western US. *American Geophysical Union. Fall Meeting*.
4. Perry H., Eaton D., Forte A. (2002). LITH5.0: a revised crustal model for Canada based on Lithoprobe results. *Geophys. J. Int.*, 150, 285-294.

Надійшла до редколегії 14.01.14

E. Kozlovskyy, Lead. Eng.,  
D. Malytsky, Dr. Sci., Prof.,  
E-mail: dmytro@cb-igph.lviv.ua  
A. Pavlova, Postgraduate Student  
Carpathian Branch of  
Subbotin Institute of Geophysics, NAS of Ukraine  
3-b Naukova Str., Lviv, 79060 Ukraine

**DETERMINING AND ANALYSIS OF AZIMUTHAL COEFFICIENTS  $Q_i$  FOR THE SEISMICALLY ACTIVE TRANSCARPATHIANS**

The aim of this paper is to clarify the velocity model of the Transcarpathian seismic region. The model will further be implemented in neural-network modelling to calculate and verify the depth and distribution of earthquake foci. There has been carried out an analysis of seismic wave propagation in different directions across the Transcarpathian seismic region. Being an important parameter indicative of the direction of wave propagation in a natural medium, the azimuthal coefficient  $q_i$  has proved to be efficient in developing a training neural network set. Two methods of

selecting sectors have been shown, based either on the location of a seismic station or a seismic event area. We have calculated average values of the azimuthal coefficient  $q_i$  for sectors with close values of  $q_i$  for one-, two- and three-layered media according to the depth of earthquake foci in each of the three layers. With three-layered media covering earthquake foci depths of 8,000-9,000 m, the calculations accurately reflect local seismic events in the Carpathians. An average layer thickness  $h$  and an average layer velocity  $v$  were calculated separately for each E-S pair (epicenter - seismic station). Conventional combining of layers was used as a method of calculating the third layer azimuth coefficient  $q_i$ . The calculations were made for direct P-waves (similar calculations can be made for S-waves). We have suggested an interpretation of the obtained results and their practical implications. It has been demonstrated how the azimuthal coefficient can be used in analysing the parameters of media.

**Keywords:** Transcarpathian seismic region, azimuthal coefficient  $q_i$ , a training neural network set, average velocity of wave propagation in a layer, depth of the earthquake focus, direct P- and S-waves, E-S pair (epicenter - seismic station), conventional velocity of wave propagation in combined layers.

Э. Козловский, вед. инж.,

Д. Малицкий, д-р физ.-мат. наук, проф., dmytro@cb-igph.lviv.ua,

А. Павлова асп., susyinet@gmail.com,

Карпатское отделение Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины,

ул. Научная, 3-б, г. Львов, Украина, 79060

## РАСЧЕТ И АНАЛИЗ АЗИМУТНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ $q_i$ ДЛЯ ЗАКАРПАТСКОГО СЕЙСМОАКТИВНОГО РЕГИОНА

Целью представленной работы является уточнение скоростной модели Закарпатского сейсмоактивного региона для дальнейшего ее использования в нейронно-сетевом моделировании для решения задачи расчета и уточнения глубины залегания источников местных землетрясений. Проведен анализ поведения распространения сейсмических волн в разных направлениях Закарпатского сейсмоактивного региона. Обосновано введение азимутального коэффициента  $q_i$  для применения в обучающей выборке нейронной сети, как параметра, отвечающего за направление распространения волны в реальной среде. Показано два способа выделения секторов когда за основу взято или сейсмостанция, или область сейсмических событий. Вычислены средние значения азимутального коэффициента  $q_i$  для соответствующих секторов с близкими значениями  $q_i$  для одно, двух и трех-слоистой среды в соответствии с глубиной расположения очага землетрясения в первом, втором или в третьем слое. Поскольку трех-слоистая среда охватывает глубины нахождения источников землетрясений в 8000-9000 м, то проведенные расчеты полностью отражают местные сейсмические события Карпатского региона. Расчет средних мощностей слоев  $h$  и средних скоростей слоев  $v$  вычисляются отдельно для каждой пары E-S (эпицентр - сейсмостанция). Для расчета азимутального коэффициента  $q_i$  третьего слоя использован метод условного объединения слоев. Представлены расчеты, которые выполнены для прямой P-волны (аналогичные расчеты можно сделать и для S-волны). Исчислена относительная погрешность расчета среднего значения азимутального коэффициента  $q_i$  для каждого сектора, проведенного на основе 4 - 26 событий для соответствующих секторов в зависимости от имеющегося количества данных о событиях, выбранных из сейсмологических бюллетеней. Проведено интерпретацию полученных результатов и рассмотрены варианты использования данной методики. На примерах показано использование азимутального коэффициента  $q_i$  для анализа параметров среды.

**Ключевые слова:** Закарпатский сейсмоактивный регион; азимутальный коэффициент  $q_i$ ; обучающая выборка нейронной сети; средняя скорость распространения волны в слое; глубина расположения источника землетрясения; прямые P и S -волны; пары E-S (эпицентр - сейсмостанция); условная скорость прохождения волной объединенных слоев.

УДК 550.832

Л. Скакальська, пров. інж.,

E-mail: Skakalska.sbigph@gmail.com

Тел.: моб.: +38(068)5051361/дом.: +38(0322)34-20-69

Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна

Національної Академії Наук України,

вул. Наукова, д. 49, кв. 46, м. Львів, 79060

## ПРОГНОЗУВАННЯ ФІЗИЧНИХ ТА КОЛЕКТОРСЬКИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРІД-КОЛЕКТОРІВ У ГЕОЛОГІЧНИХ СТРУКТУРАХ ІЗ НЕТРАДИЦІЙНИМ ГАЗОМ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром фіз.-мат. наук, проф. Г.Т. Продайводю)

Оскільки ефективність досліджень поведінки швидкостей пружних хвиль в газонасних тонкошаруватих геологічних структурах залежить від вибору геофізичної та математичної моделей реального геологічного середовища, чисельних методів розв'язання задачі, то в роботі вважається доцільним застосування моделі квазіоднорідного, ізотропного трищинуватого-пористого двофазного середовища із заданими фізико-механічними властивостями. Пропонується розрахунок емпіричних співвідношень, що пов'язують об'ємний стиск, пористість і тиск в пористих породах довільного геологічного регіону. Проведено розрахунок кореляційних зв'язків і емпіричних залежностей між колекторськими властивостями і параметрами пружних хвиль, розрізнення сухих і флюїдонасичених порід на прикладі даних Залужанських свердловин. При розрахунку залежностей коефіцієнтів стисливості флюїдонасичених порід від пористості і тиску використано метод найменших квадратів (МНК). Проведено розрізнення флюїдів нафти і води за параметром густини. Створено алгоритм розрахунків.

Ефективність запропонованого дослідження, що базується на методико-програмному комплексі [7], його переваги та можливості забезпечуються:

- виробленням чисельно-аналітичної прогностичної схеми інтерпретації сейсмоакустичних даних тонкошаруватих гірських порід за виявленими зв'язками між їх динамічними фізичними (ефективні швидкості поширення хвиль, коефіцієнти загасання амплітуд і поглинання їх енергії) і колекторськими (пористість, трищинуватість, стисливість) властивостями;

- застосуванням запропонованої моделі та програмних продуктів у геофізичній практиці розвідки газонасних шарів до геологічної і геофізичної інформації про структуру розрізів і фізичні особливості газонасних басейнів. Введення в числову схему сейсмоакустичної розвідки експериментальних геолого-геофізичних даних про умови залегання гірських порід на досліджуваній площі обов'язкове з причини існування значних відмінностей між фізико-механічними властивостями різних територій. Облік такої вхідної інформації, а також структурних і розсіюючих особливостей гірських порід (густина, шаруватість, мікропористість) гарантує значне підвищення точності чисельного аналізу. Попереднє тестування проведено на даних пружних модулів і швидкостей поперечних хвиль для сухих і флюїдонасичених порід Навахо, Voise [7, 13]; розраховані пружні модулі і швидкості поздовжніх хвиль для сухих і флюїдонасичених порід Західного нафтогазонасного регіону України (свердловини Залужани-18 і Залужани-19). Мета цієї роботи – продемонструвати можливість прогностичного методу [7] шляхом дослідження колекторських властивостей порід свердловин, оцінити їх газонасиченість за даними акустичного каротажу та бази геолого-фізичних і петрофізичних даних.

**Ключові слова:** об'ємний стиск, пористість, тиск, геологічний регіон, нетрадиційний газ.

**Вступ.** Запаси легкодобувних вуглеводнів у світі закінчуються, тому особливу зацікавленість викликає нетрадиційний газ (unconventional gas), який залягає в

щільних колекторах, вугільних пластах, глинистих сланцях [11]. Сучасні технічні засоби сейсмічної розвідки корисних копалин є унікальними щодо можливостей