

<https://doi.org/10.15407/dopovidi2020.02.045>

УДК 550.834

Д.М. Гринь

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ

E-mail: dgrin@igph.kiev.ua

Глибинна будова Ялинського насуву Дніпровсько-Донецької западини за даними сейсмічного профілю DOBReFlection-2000

Представлено академіком НАН України В.І. Старостенком

Розломи в геологічному середовищі з'являються у результаті глибинних тектонічних рухів. Їхня кількість і просторове розташування є важливим інформативним елементом про геодинамічні явища, які відбувалися мільйони років тому. Виділення розломів із сейсмічного хвильового поля можливе за умови нескладної геології, коли відбиваючі границі розташовані горизонтально або під малим кутом. У місці розлому з вертикальним зміщенням у відбитому хвильовому полі виникають фазові неузгодження. Це полегшує їхнє виявлення. Але у більшості випадків маємо досить складну геологію або необхідність досліджувати великі глибини. Для таких випадків необхідно застосовувати додаткові математичні методи обробки сейсмічних даних. Один з таких способів описаний у роботі — розв'язання оберненої динамічної задачі сейсміки з метою встановлення поглинальних особливостей геологічної будови. Розломи в осадових породах, як правило, заповнені подрібненими залишками породи, флюїдами, водою. Це різко змінює поглинальні властивості заповнювача, що підвищує контрастність розлому. У метаморфізованих твердих породах спостерігається однотипна зміна поглинання великих монолітних блоків, які знаходяться поруч і були переміщені на певну відстань. В основу запропонованої методики визначення наявності та просторового поширення малоамплітудних глибинних розломів покладено метод визначення логарифмічних декрементів згасання. Для інтерпретації використано сейсмічні матеріали СГТ, отримані під час виконання міжнародного проекту DOBReFlection-2000. Наведено результати дослідження ділянки сейсмічного профілю, на якій знаходиться найбільший у Дніпровсько-Донецької западині Ялинський насув.

Ключові слова: розлом, логарифмічний декремент згасання, сейсморозвідка, геотектоніка, поглинання.

Геодинамічні процеси, які відбуваються впродовж мільйонів років, призводять до появи розломів і тріщин у масиві гірських порід. Розломи з'являються під час формування складок, зсувів, насувів, скидів, утворенні грабенів. Ці геологічні об'єкти зароджуються і розвиваються під впливом сил розтягування або стискання. Для геологічної науки, яка вивчає історію розвитку Землі, розломи є важливим літописним елементом, який зафіксував послідовність та інтенсивність різноманітних геодинамічних явищ. Для геофізики, зокрема сейсмології, розломи є зоною підвищеної уваги у зв'язку зі збільшенням сейсмічності

© Д.М. Гринь, 2020

ISSN 1025-6415. Допов. Нац. акад. наук Укр. 2020. № 2: 45–51

45

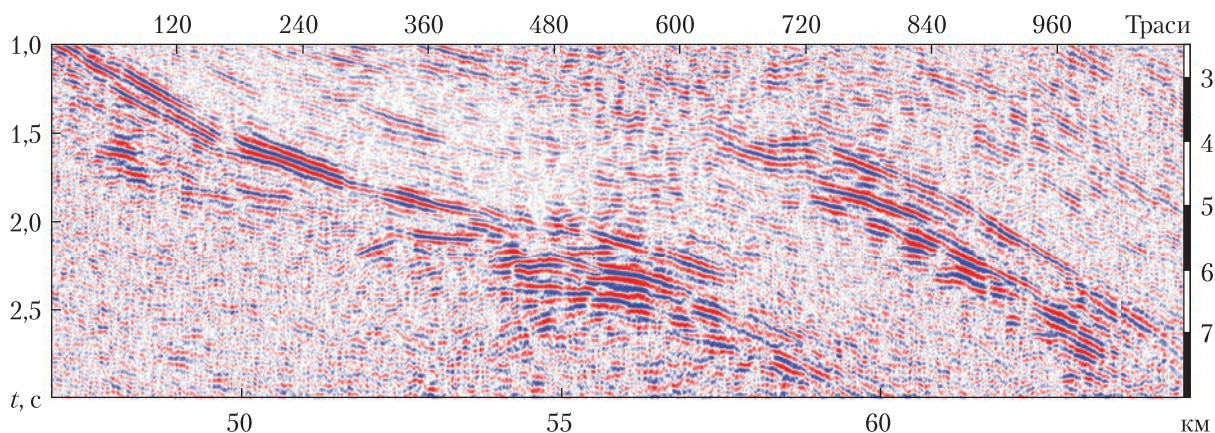


Рис. 1. Сейсмічне хвильове поле частини профілю DOBReflection-2000, завдовжки 18 км з відображенням Ялинського насуву

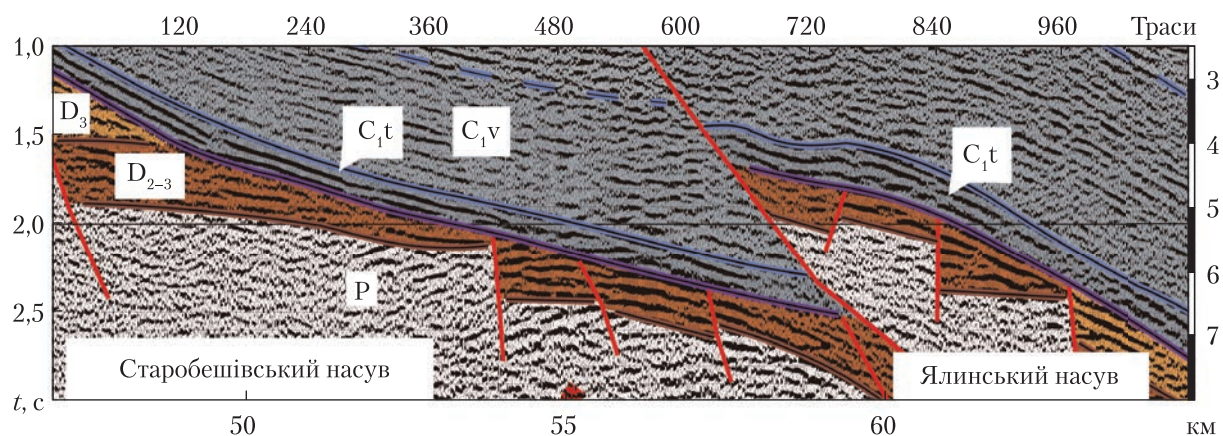


Рис. 2. Геологічна будова Ялинського насуву, представлена в роботі [3]

території і небезпеки для споруд різного призначення. Для нафтогазорозвідки вони є місцем розуцільнення, через яке поступали вуглеводні у горизонт колектор. Тому визначення наявності і просторового поширення розломних зон у геологічних структурах є важливим завданням, оскільки дає відповіді на багато запитань.

Інтерпретація сейсмічних даних по лінії профілів DOBRefractiоn'99 (метод глибинного сейсмічного зондування (ГСЗ)) [1, 2] і DOBReflection-2000 (метод спільної глибинної точки (СГТ)) [2, 3] проводилась з метою встановлення можливості виявлення глибинних розломів у верхній частині кори та уточнення геологічної будови підшви осадового чохла Дніпровсько-Донецької западини.

У роботі наведено результати детального вивчення глибинної будови ділянки між Старобешівським і Мушкетівським насувом, що починається з 47 км і закінчується на 65 км профілю DOBReflection-2000. Покрівля фундаменту на цій ділянці занурюється на північний схід з глибини 3 км до глибини 8 км під кутом приблизно 17°. Між цими насувом знаходиться Ялинський насув. Це унікальне геологічне утворення, яке має вертикальне зміщення майже 2 км (рис. 1). Він чітко проявляється у сейсмічному хвильовому полі за

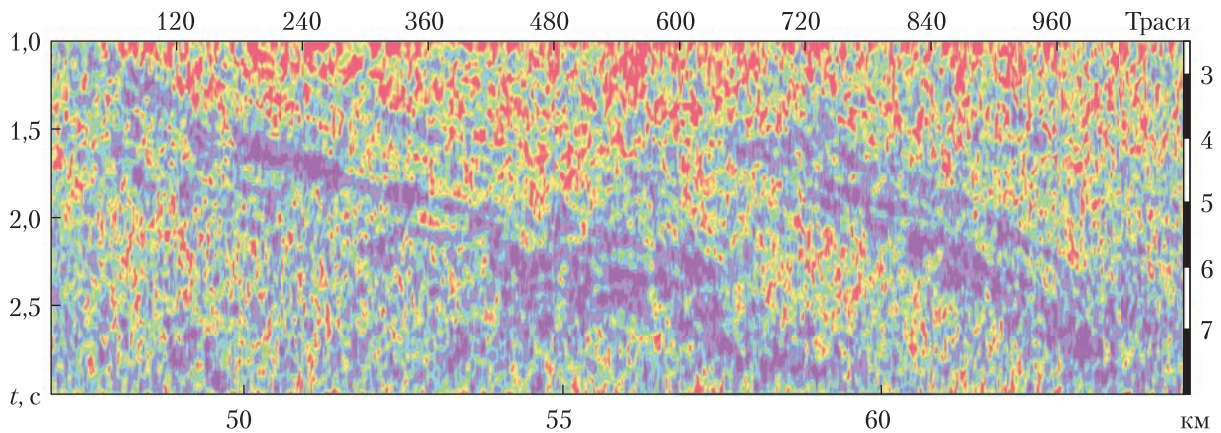


Рис. 3. Часові розрізи ЛДЗ переходу від осадового чохла до фундаменту

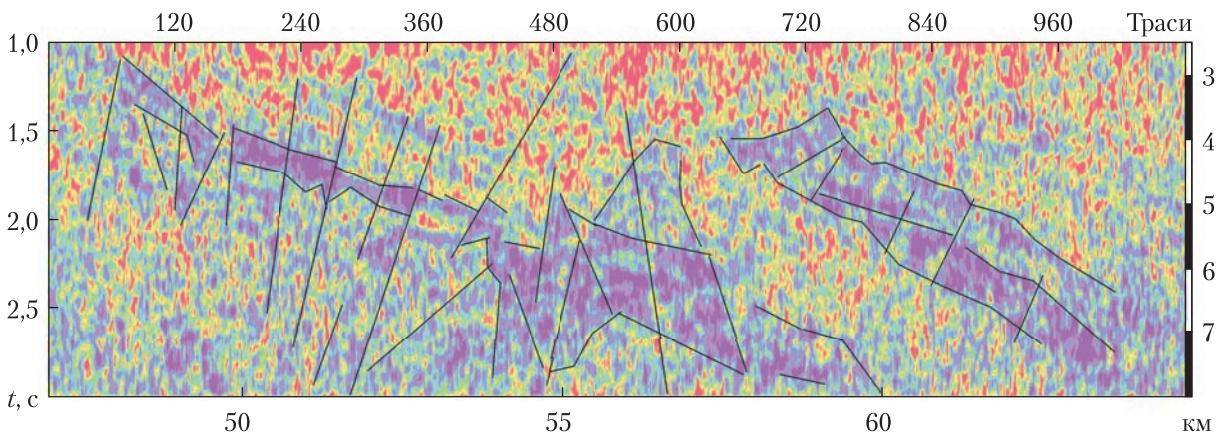


Рис. 4. Часові розрізи ЛДЗ з відміченими розломами, сформованими в покрівлі фундаменту

рахунок відбиттів від горизонтів нижньокам'яновугільного комплексу [3]. Зароджується він на глибині понад 10 км і виходить на поверхню у вигляді неузгодженого залягання різновікових порід.

У публікації [3] була запропонована геологічна інтерпретація ділянки між Старобешівським і Мушкетівським насувом (рис. 2). У центрі рис. 2 зображено Ялинський насув. Репером виступають два контрастних горизонти: нижньокам'яновугільний турнейського ярусу і верхньодевонський. Положення розломів збігається зі зміною товщини окремих видимих блоків осадових порід девону. Такий варіант інтерпретації в подальшому неодноразово використовувався іншими дослідниками [4–6]. Сейсмічні дані з цієї ділянки, які вирізняються своєю складністю, використовувались для апробації запропонованого алгоритму *post-stek* міграції [7, 8].

Складність у вмотивованому виборі напрямку поширення розлому пояснюється недостатністю товщини реперних горизонтів для встановлення кута нахилу розлому, відсутністю відбиваючих границь у породах протерозою та великою глибиною залягання розломів. Крім цього, кути нахилу розломів близькі до вертикальних.

Для пошуку зон розущільнення, які можна ідентифікувати як розломи, пропонується використовувати розв'язання оберненої динамічної задачі сейсміки — знаходженням логарифмічних декрементів згасання (ЛДЗ), описаної у ряді робіт [9, 10]. Перед розв'язанням такої задачі проводиться видалення різних за походженням хвиль завад скінченнорізнцевим методом. Цей метод не має нелінійних математичних операцій, тому не спотворює амплітудно-частотні характеристики сейсмічних записів. Видаляються залишки поверхневих хвиль, міграційні артефакти, які пов'язані з використанням неточних швидкостей поширення сейсмічної хвилі у середовищі. Часові дані ЛДЗ відображають поглинальні властивості геологічного середовища, що полегшує інтерпретацію фактичних даних і підсилює слабопомітні деталі будови, якими, наприклад, є розломи. Роздільна здатність методу відповідає роздільній здатності сейсмічних даних СГГ.

Спосіб визначення просторового розташування розломних зон був випробуваний на сейсмічних даних, отриманих на території Краснолиманської вугільної шахти ДГП “Укр-геофізика”. Геологічна будова цієї ділянки вирізняється складною тонкошаровою будовою, з насупами та скидами й розгалуженою сіткою регіональних і локальних розломів [11]. Крім цього, хвильове поле ускладнено наявністю міжпластового метану та великими підземними шахтними об'єктами.

На рис. 3 показано результат обчислення ЛДЗ на ділянці між Старобешівським і Мушкетівським насупом. Поглинальні властивості геологічного середовища можна умовно розділити на три переважаючі групи за кольорами. Червоно-жовті кольори характерні для осадових, середньо- та нижньокам'яновугільних порід з високим поглинанням енергії сейсмічної хвилі, фіолетовий колір — для верхньодевонських порід з відносно малим поглинанням, зелено-жовтий — для порід протерозою, який залягає найглибше. Розломи фундаменту проявляються у вигляді протяжних тонких лінійних структур, які особливо помітні на контакті двох геологічних пластів з діаметрально протилежними фізичними властивостями. У розломних зонах осадових порід, як правило, знаходиться заповнювач з високим поглинанням (флюїдонасичені розконсолідовані породи), тому вони чіткіше проявляються на часових розрізах ЛДЗ.

У верхній частині фундаменту чітко виділяється група лінійних розломних структур протяжністю від 2 до 6 км (рис. 4, ліва частина). Вони мають практично однаковий кут нахилу і проникають на декілька кілометрів у більш молоді нижньокам'яновугільні породи — турнейські та візейські. Це свідчить про те, що процеси розломоутворення відбувалися у цей період. У центрі рис. 4 зображені породи верхнього девону (фіолетовий колір) з товщиною втричі більшою, ніж у лівій частині рисунка. Така товщина могла утворитись за декількох обставин. Можливо, це наслідок процесів стискання під час інверсії на Донбасі перед виникненням високоамплітудного насупу. Але ймовірніше, це природна товщина накопичення осадових порід. Про це свідчить і товщина девонських відкладів самого насупу (див. рис. 4, права частина), а одже, в цій частині вибраної ділянки було на 1 км глибше і могли існувати глибинні розломи, по яких пізніше сформувався насуп.

Таким чином, для вивчення геологічної будови Ялинського насупу, найбільшого у Дніпровсько-Донецькій западині, було використано логарифмічні декременти згасання. Ця методика уможливіє перехід від амплітудно-частотного складу хвильового поля до поглинальних властивостей геологічного середовища. Роздільна здатність методу визначення

ЛДЗ відповідає роздільній здатності сейсмічних записів. Це дає можливість використувати запропонований метод для пошуку розломних зон на великих глибинах.

У результаті інтерпретації даних ЛДЗ встановлено товщину реперних нижньокам'яно-вугільних горизонтів і визначено просторову протяжність основних розломів та кути падіння. Отримана інформація важлива для вивчення геодинамічних явищ, які призвели до формування Дніпровсько-Донецької западини.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Grad M., Gryn D., Guterch A., Janik T., Keller R., Lang R., Lyngsie S.B., Omelchenko V., Starostenko V.I., Stephenson R., Stovba S., Thybo H., Tolkunov A. "DOBREfraction'99" – velocity model of the crust and upper mantle beneath the Donbas Folder (East Ukraine). *Tectonophysics*. 2003. **371**. P. 81–110. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(03\)00211-7](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(03)00211-7)
2. DOBREfraction-2000 Working Groups, DOBREFraction'99 Working Groups. DOBRE studies evolution of inverted intra-cratonic rifts in Ukraine. *EOS*. (Trans. AGU). 2002. **83**, № 30. P. 323–327. <https://doi.org/10.1029/2002EO000237>
3. Maystrenko Yu., Stovba S., Stephenson R., Bayer U., Menyoli E., Gajewski D., Huebscher Ch., Rabbel W., Saintot A., Starostenko V., Thybo H., Tolkunov A. Crustal-scale pop-up structure in cratonic lithosphere: DOBRE deep seismic reflection study of the Donbas fold belt, Ukraine. *Geology*. 2003. **31**, № 8. P. 733–736. <https://doi.org/10.1130/G19329.1>
4. Stephenson R.A., Yegorova T.S., Brunet M.-F., Stovba S., Wilson M., Starostenko V., Saintot A., Kusznir N. Late Palaeozoic intra- and pericratonic basins on the East European Craton and its margins. *European Lithosphere Dynamics*. 2006. **32**. P. 463–479. <https://doi.org/10.1144/GSL.MEM.2006.032.01.29>
5. Privalov V.A., Sachsenhofer R.F., Izart A., Panova E.A. Coalbed methane in the Donets Basin. *Наук. праці ДонНТУ. Сер. "Гірничо-геологічна"*. 2008. № 7. С. 170–178.
6. Полівцев А.В. Геологічні висновки з розподілу вертикальних голоценових рухів по профілях DOBRE та Новопавлівка – Шахтарськ. *Геотехнічна механіка*. 2010. Вип. 87. С. 218–230.
7. Menyoli E., Gajewski D. A strategy to image tectonically complex areas using CRS stack and prestack depth migration. *Annual WIT report*. 2002. P. 17–25.
8. Menyoli E., Gajewski D., Hubscher C. Imaging of complex basin structures with the common reflection surface (CRS) stack method. *Geophys. J. Int.* 2004. **157**. P. 1206–1216. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2004.02268.x>
9. Гринь Д.М. Логарифмічні декременти та інші функції згасання сейсмічних хвиль. *Геофиз. журн.* 2001. **23**, № 4. С. 91–102.
10. Гринь Д.М. Автоматизований спосіб визначення неузгодженого залягання геологічних горизонтів за тривимірними сейсмічними даними. *Геофиз. журн.* 2019. **41**, № 6. С. 183–194.
11. Гринь Д.М. Методика визначення просторового поширення малоамплітудних розломів і тріщин у тонкошаруватому вуглевмісному геологічному середовищі. *Геофиз. журн.* 2019. **41**, № 5. С. 190–215.

Надійшло до редакції 18.12.2019

REFERENCES

1. Grad, M., Gryn, D., Guterch, A., Janik, T., Keller, R., Lang, R., Lyngsie, S. B., Omelchenko, V., Starostenko, V. I., Stephenson, R., Stovba, S., Thybo, H. & Tolkunov, A. (2003). "DOBREFraction'99" – velocity model of the crust and upper mantle beneath the Donbas Folder (East Ukraine). *Tectonophysics*, 371, pp. 81-110. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(03\)00211-7](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(03)00211-7)
2. DOBREFraction-2000 Working Groups, DOBREFraction'99 Working Groups (2002). DOBRE studies evolution of inverted intra-cratonic rifts in Ukraine. *EOS*. (Trans. AGU), 83, No. 30, pp. 323-327. <https://doi.org/10.1029/2002EO000237>
3. Maystrenko, Yu., Stovba, S., Stephenson, R., Bayer, U., Menyoli, E., Gajewski, D., Huebscher, Ch., Rabbel, W., Saintot, A., Starostenko, V., Thybo, H. & Tolkunov, A. (2003). Crustal-scale pop-up structure in cratonic

- lithosphere: DOBRE deep seismic reflection study of the Donbas fold belt, Ukraine. *Geology*, 31, No. 8, pp. 733-736. <https://doi.org/10.1130/G19329.1>
4. Stephenson, R. A., Yegorova, T. S., Brunet, M.-F., Stovba, S., Wilson, M., Starostenko, V., Saintot, A. & Kuszniir, N. (2006). Late Palaeozoic intra- and pericratonic basins on the East European Craton and its margins. *European Lithosphere Dynamics*, 32, pp. 463-479. <https://doi.org/10.1144/GSL.MEM.2006.032.01.29>
 5. Privalov, V. A., Sachsenhofer, R. F., Izart, A. & Panova, E. A. (2008). Coalbed methane in the Donets Basin. *Naukovi pratsy DonNTU. Ser. "Hirnycho-heolohichna"*, No. 7, pp. 170-178.
 6. Polivtsev, A. B. (2010). The geological conclusions from distribution of vertical Holocene movements along the profiles Dobre and Novopavlivka – Shaktarsk. *Geotekhnichna mehanika*, 87, pp. 218-230 (in Ukrainian).
 7. Menyoli, E. & Gajewski, D. (2002). A strategy to image tectonically complex areas using CRS stack and prestack depth migration. *Annual WIT report*, pp. 17-25.
 8. Menyoli, E., Gajewski, D. & Hubscher, C. (2004). Imaging of complex basin structures with the common reflection surface (CRS) stack method. *Geophys. J. Int.*, 157, pp. 1206-1216. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2004.02268.x>
 9. Грын, Д. М. (2001). Logarithmic decrement and other features attenuation of seismic waves. *Geofiz. zhurn.*, 23, No. 4, pp. 91-102 (in Ukrainian).
 10. Грын, Д. М. (2019). Automated method for determination of geological horizons nonconformity according to three-dimensional seismic data. *Geofiz. zhurn.*, 41, No. 6, pp. 183-194 (in Ukrainian).
 11. Грын, Д. М. (2019). Methods for determination of spatial distribution of minor-amplitude faults and fissures in thin-layer coal-bearing geological medium. *Geofiz. zhurn.*, 41, No. 5, pp. 190-205 (in Ukrainian).

Received 18.12.2019

Д.Н. Гринь

Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Киев
E-mail: dgrin@igph.kiev.ua

ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ ЯЛЫНСКОГО НАДВИГА ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЫ ПО ДАННЫМ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ DOBReFlection-2000

Разломы в геологической среде появляются в результате глубинных тектонических процессов. Их количество и пространственное расположение является важным информативным элементом, который содержит информацию о геодинамических событиях, которые происходили миллионы лет тому назад. Выделение разломов из сейсмического волнового поля возможно при условии простой геологии, когда отражающие границы расположены горизонтально или под малым углом. В точке разлома с вертикальным смещением в отраженном волновом поле возникают фазовые несогласия. Это облегчает их выявление. Однако в большинстве случаев имеем достаточно сложную геологию или необходимость изучать большие глубины. Для таких случаев необходимо использовать дополнительные математические методы обработки сейсмических данных. Один из таких способов описан в работе — решение обратной динамической задачи сейсмологии с целью установить поглощающие особенности геологической среды. Разломы в осадочных породах, как правило, заполнены измельченными остатками породы, флюидами, водой. Это резко меняет поглощающие свойства заполнителя, что повышает контрастность разлома. В метаморфизированных твердых породах наблюдается однотипная замена поглощения больших монолитных блоков, которые находятся рядом и были перемещены на некоторое расстояние. В основе предложенной методики по определению наличия пространственного распределения малоамплитудных глубинных разломов лежит метод определения логарифмических декрементов затухания. Для интерпретации использованы сейсмические данные ОГТ, полученные во время реализации международного проекта DOBReFlection-2000.

Приведены результаты исследования на участке сейсмического профиля, где расположен крупнейший в Днепровско-Донецкой впадине Ялынский надвиг.

Ключевые слова: разлом, логарифмический декремент затухания, сейсморазведка, геотектоника, поглощение.

D.M. Gryn

S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine, Kyiv

E-mail: dgrin@igph.kiev.ua

DEPTH STRUCTURE OF THE YALYNSKY THRUST
OF THE DNIIEPR-DONETS BASIN ACCORDING
TO THE SEISMIC PROFILE DOBReFlection-2000

The faults in the geological environment appear as a result of deep tectonic movements. Their number and spatial location is an important element of information about geodynamic phenomena that took place millions of years ago. The separation of faults from a seismic wave field is possible in a simple geology, when the reflecting boundaries are horizontal or have a small angle. Phase mismatches are at the point of fracture. This facilitates their identification.

But, in most cases, we have a very complicated geology, or must explore the great depths. In such difficult cases, additional mathematical methods must be used to process seismic data. One such method is described in the article. It consists in the solution of the inverse dynamic seismic task. The purpose is to determine the absorbing characteristics of a geological structure. As a rule, faults in sedimentary rocks are filled with crushed rock, fluids, and water. This dramatically changes the absorbing properties of a fault and increases its contrast.

The proposed method is based on the method of determining the logarithmic decay decrements. Seismic data of the CDP were used for the interpretation. They were made during the international project DOBReFlection-2000. The article presents the seismic profile section with the largest Yalynsky thrust in the DDB.

Keywords: *fault, logarithmic decay decrements, seismic survey, geotectonics, absorption.*