sedimentary environments in coastal wetlands; methodological aspects // Hydrobiologia. – 1993. – V. 296/270. – P. 285-296. 11. *Vos P.C., De Wolf H.* Methodological aspects of paleoecological diatom research in coastal areas of the Netherlands // Geol. Mijnbouw. – 1988. – V. 67. – P. 31-40. 12. *Vos P.C.*, *De Wolf H.* Palaeoenvironmental research on diatoms in Early and Middle Holocene deposits in Central North Holland (The Netherlands) // Netherlands Journal of Aquatic Ecology. – 1994. – V. 28(1). – P. 97-115. 13. *Zong Y., Horton B.P.* Diatom-based tidal-level transfer functions as an aid in reconstructing Quaternary history of sea-level movements in the UK // Journal of Quaternary Science. – 1999. – V. 14(2). – P. 153-167.

Надійшла до редколегії 23.07.12

ГЕОФІЗИКА

УДК 521.16; 550.34

С. Вижва, д-р геол. наук, проф.,
А. Казанцев, канд. фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.

СТАТИСТИЧНИЙ ЗВ'ЯЗОК ПАРАМЕТРІВ МІСЯЦЯ ІЗ СЕЙСМІЧНИМИ ЯВИЩАМИ НА ЗЕМЛІ

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

Проведено статистичне співставлення сейсмічних явищ за 2001–2011 рр. із деякими параметрами орбіти Місяця. Отримані окремі статистично значимі залежності між кількістю явищ на Землі та місячними параметрами. Зроблено висновок, що Місяць по різному впливає на кількість сейсмічних явищ, що відбуваються на різних глибинах (до 40 км та глибше 40 км).

A statistical comparison of seismic phenomena for 2001–2011 ys with some parameters of the Moon's orbit was carried out. There were obtained some significant dependences of the seismic phenomena quantity on the Earth upon the Moon's parameters. It was make a conclusion that the Moon is differently influenced on the seismic phenomena quantity which occur at different depths (up to 40 km and deeper then 40 km).

Вступ. Вплив Місяця на земні сейсмічні явища вивчається вже кілька століть. За цей час виявлені деякі кореляційні зв'язки між кількістю та потужністю землетрусів із різними параметрами Місяця (кутом фази, положенням на орбіті, відстань від Землі тощо). Про існування таких зв'язків вказувалося ще в публікаціях XIX ст [4]. Щоправда, були й заперечення стосовно можливого впливу Місяця на землетруси [7]. В останні десятиліття кількість публікацій про зв'язок Місяця тіл із землетрусами зростає. В них вплив природного супутника Землі розглядається не як причина виникнення землетрусів, а як спусковий механізм, що в окремих випадках приводить до вивільнення енергії, накопиченої в надрах Землі самими ж підземними процесами. Головною складовою такого спускового механізму має бути припливна дія з боку Сонця та Місяця. Тому в наявних публікаціях з цього питання вказується на існування кореляції кількості землетрусі із періодом доби [10, 11], із фазами Місяця [2, 9, 11], відстанню Місяця від Землі [8]. Існування подібних кореляцій виявлено на інтервалах часу в кілька десятиліть [1]. В ряді публікацій аналізується кореляція землетрусів із кутом нахилу місячної орбіти [5, 11], а також і сонячною активністю [5].

Найбільш важливим завданням сейсмології на сьогодні є вихід на можливість хоч якогось передбачення землетрусів по окремих зонах. Зрозуміло, що головна причина цих явищ схована глибоко під землею. Та якщо Місяць хоч трохи, але впливає на землетруси, на їх початок, магнітуду та ін., то всебічне з'ясування такого впливу зможе допомогти у виході на очікуване передбачення. На наш погляд зазначену проблему варто досліджувати одночасно із залученням фахівців з геофізики та астрономії.

1. Підготовка масиву даних. Інформація про сейсмічні явища була отримана від філіалу Головного центру спеціального контролю національного космічного агентства України (Макарів 1) в рамках договору про співробітництво між ГЦМК та геологічним факультетом Київського національного університету імені Тараса Шевченка. На даний час отримані дані про явища по всій землі за 2001-2011 рр. Після перезапису інформації в текстовий формат та відкидання неповних чи помилкових значень отримали масив даних про 51780 сейсмічних явищ. Масив містить: дату та момент (за всесвітнім часом) з точністю до 1 с, географічні координати епіцентру явища (довготу та широту з точністю до мінути дуги), глибину *H* (з точністю до 1 км), магнітуду *M* та розрахункову інтенсивність явища (з точністю до 0.01).

Крім природних явищ ГЦСК реєструє сейсмічні явища техногенного походження. Для них у графах магнітуди, глибини та розрахованої інтенсивності в першоджерелах стоять значки "-". В нашому масиві ці значки замінені нулями. Зрозуміло, що дослідження зв'язку техногенних явищ із параметрами Місяця саме по собі не має сенсу. Однак, такі явища потрібні для контролю значимості залежностей природних явищ із місячними параметрами, що буде використано нижче.

2. Попередній аналіз масиву.

2.1 Розподіл за магнітудою. Попередній аналіз масиву сейсмічних даних варто починати з загального розподілу кількості явищ за величиною магнітуди *M*. Даний розподіл наведено на рис. 1.

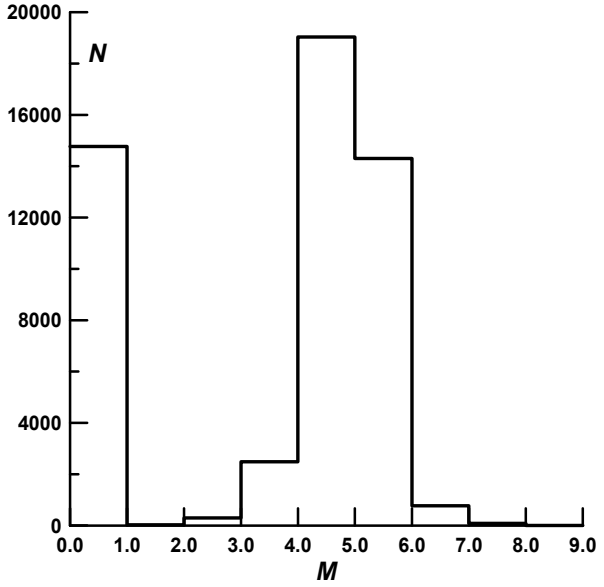

Рис. 1. Розподіл загальної кількості сейсмічних явищ за величиною магнітуди

© Вижва С., Казанцев А., 2012

З рис. 1 можна бачити чітке розмежування сейсмічних явищ техногенного походження (M <1), кількість яких становить біля 15000, та природних (M >1, близько 37000). Також видно, що кількість природних явищ зростає зі збільшенням магнітуди від 1 до 4, а потім спадає. Загальна кількість землетрусів, що відбуваються по всій Землі, має зменшуватись із збільшенням магнітуди. Отже з цього рисунка можна зробити висновок, що станція реєструє всі явища, що відбуваються на Землі, з магнітудою від 4 і вище. Менш потужні явища реєструються не всі, а лише ті, епіцентр яких розташований на відносно невеликий відстані від станції.

2.2 Розподіл за глибиною. Наведений вище рисунок свідчить, що розподіл кількості явищ за глибиною слід будувати для явищ з M >4. Тобто, для тих, для яких існує повна вибірка. Оскільки явища меншої потужності реєструються далеко не всі, то будь який їхній розподіл не може описувати ті чи інші характеристики для всієї Землі.

Загальний розподіл $N(H)$ для M >4 наведено на рис. 2.

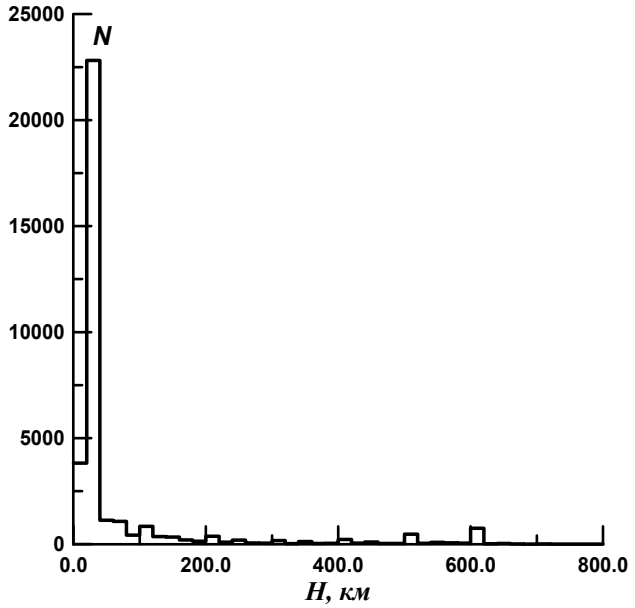

Рис. 2. Розподіл за глибиною кількості сейсмічних явищ з M >4

З рисунка добре видно, що більшість землетрусів, а саме 29500, припадає на глибини до 40 км, тобто в земній корі. Гіпоцентри інших 25 % землетрусів розташовані на більших глибинах. Такий розподіл пояснюється тим, що речовина земної кори за структурою близька до кристалічної. Тому в ній при зміщенні порід може відбуватися накопичення енергії пружності. Вивільняючись, накопичена енергія й призволить до землетрусу. Глибші шари за структурою є більш аморфними, і там накопичення енергії пружності може відбуватися лише в окремих зонах.

Крім того, можливо певну роль в наявному розподілі $N(H)$ відіграє й суб'єктивний фактор –землетруси на менших глибина простіше зареєструвати наземними приладами.

Оскільки розподіл для більших глибин в такому масштабі видно нечітко, наведемо його окремо (рис. 3).

Розподіл показує високі максимуми на глибинах, кратних 100 км, та дещо менші на глибинах, кратних 50 км. Зрозуміло, що така специфіка демонструє не реальне розташування гіпоцентрів землетрусів із глибиною, а точність визначення глибин. Максимальні глибини зареєстрованих ГЦСК сейсмічних явищ не перевищують 720 км.

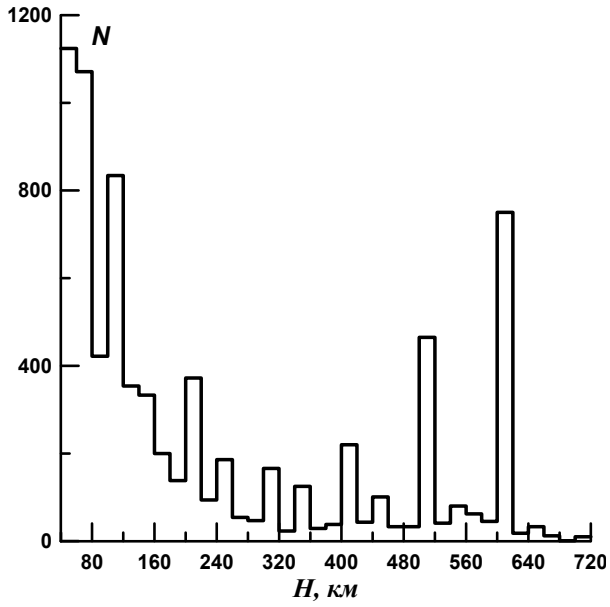

Рис. 3. Залежність $N(H)$ для явищ з H >40 та Mg >4

3. Статистичне співставлення сейсмічних явищ із параметрами Місяця.

3.1 Співставлення із кутом фази Місяця. Після наведений вище короткого попереднього аналізу бази сейсмічних явищ можна перейти до пошуку кореляційних залежностей землетрусів із параметрами Місяця. Розпочати можна із залежності від кута фази φ. Кут фази – це кут між Сонцем та Місяцем при спостережені з Землі. При новому місяці значення φ близькі до 0^o, при повному – до 180^o.

В ряді публікацій [1,8,9,11] зазначається, що саме кути $\varphi = 0^o$ та 180^o є найбільш "сейсмічно небезпечними". В окремих дослідженнях до цих значень долучають також кути фази 90^oта 270^o [2].

В даній роботі при обчисленнях параметрів Місяця використовувалась відома сучасна програма DE406/LE406. Крім того, було створено додаткові програми для розрахунку деяких параметрів, обчислення яких не закладене безпосередньо в DE406/LE406.

Для побудови загального розподілу будемо використовувати явища з магнітудою $M \geq 4$, оскільки при меншій магнітуді вибірка по всій землі є неповною. Відповідна залежність $N(\varphi)$ при представлена на рис. 4 (верхній розподіл).

Нижній розподіл показує аналогічну залежність для техногенних явищ. Одразу впадає в очі, що обидві залежності показують зменшення кількості явищ при $\varphi \approx 0^o$ та $\varphi \approx 180^o$. Особливо дивним це може здаватися для техногенних явищ. Це однак не означає що при новому та при повному місяці природний супутник Землі найменшим чином впливає на землетруси. Такі мінімуми просто пояснюються нерівномірністю зміни кута фази з часом. При новому місяці та при повні Місяць перебуває приблизно на одній лінії з Сонцем для земного спостерігача, і зміщується перпендикулярно до цієї лінії. Тобто, в такі періоди швидкість зміни кута фази є максимальною. Відповідно при $\varphi \approx 90^o$ дана швидкість має бути мінімальною. Це й пояснює наявність локальних мінімумів при $\varphi \approx 0^o$, 180^o та локальних максимумів при $\varphi \approx 90^o$. При куті фази 0^o – 20^o чи 160^o – 180^o Місяць просто знаходиться помітно менше часу, ніж при $\varphi = 70^o$–90^o.

Цікавіше виглядають усереднені залежності $N(\varphi)$ (пунктир). Як і має бути, для техногенних явищ така залежність майже горизонтальна. Для природних землетрусів помітно певне зростання середньої кількості

явищ із збільшенням кута фази. Якщо усереднені залежності записати у вигляді

$$N = a\varphi + b, \quad (1)$$

то значення коефіцієнта ***a*** для нижнього розподілу становить 0.09, а для верхнього – 1.38. Вибірка техногенних явищ становить біля 15000, а природних – біля 34000. Використовуючи критерій Фішера, можна отримати, що зростання усередненої залежності $N(\varphi)$ для природних явищ статистично значиме на рівні не менше "чотири сігма". Про що це свідчить – одразу визначити складно, потрібно провести окремі дослідження.

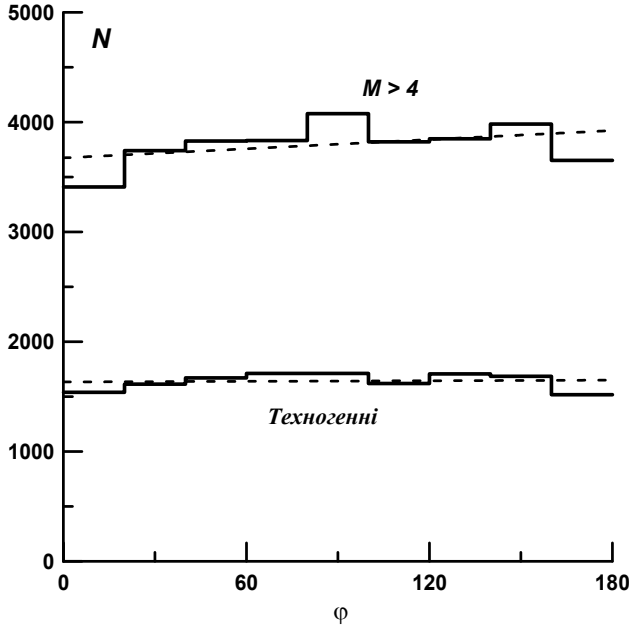

Рис. 4. Залежність кількості сейсмічних явищ від кута фази Місяця

3.2 Співставлення із відстанню до Місяця. Логічно припустити, що найбільш яскраво має бути вражена кореляція між кількістю землетрусів та відстанню Місяця від Землі *rm*. Складність дослідження залежності *N*(*rm*) полягає в тому, що часова зміна відстані від Землі до Місяця є досить непростою функцією. Для прикладу на рис. 5 показано зміну геоцентричної відстані Місяця (в км) з часом за 500 діб. По часовій шкалі зазначені юліанські доби, зменшені на 2450000. Це період з 31 березня 2001 р. по 13 серпня 2002 р.

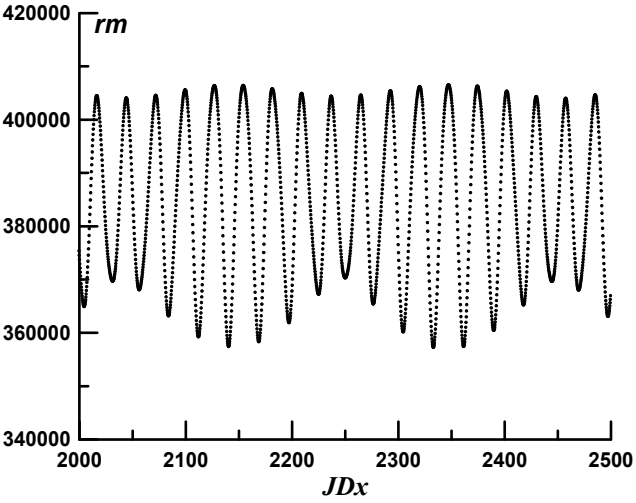

Рис. 5. Зміна геоцентричної відстані Місяця з часом

Як можна бачити, на залежності *rm*(*t*) накладаються одночасно кілька періодів. Короткоперіодичні відповідають сидеричному місяцю, тобто періоду обертання Місяця навколо Землі (27.3 доби). Зміни з більшим періодом обумовлені, головним чином, специфікою зміни ексцентриситету місячної орбіти. В зміні елементів орбіти Місяця присутні і значно більші періоди, але вони не так сильно впливають на зміну його геоцентричної відстані.

Зрозуміло, що нас цікавлять не просто кореляційні залежності між землетрусами та параметрами Місяця, а фізичні зв'язки. Тобто, значення окремих місячних параметрів, при яких Місяць по різному, але безпосередньо впливає на кількість землетрусів чи інші їх характеристики. Отже при побудові залежності характеристик землетрусів від величини *rm* потрібно врахувати й виключити нерівномірність зміни *rm* з часом. Інакше можна отримати помилкові максимуми чи мінімуми, як це ми бачили для залежності *N*(φ) на рис. 4.

Отримана залежність буде більш точною, якщо часовий відрізок зареєстрованих сейсмічних явищ буде повністю покривати відповідний відрізок часу зміни геоцентричної відстані Місяця. Якщо в базі даних є певні пропуски в часовому періоді, то для попередньої оцінки простіше використати усереднену середню аномалію Місця, *Mm*. Середня аномалія – це кутова величина, яка показує відстань Місяця від перигею і рівномірно змінюється з часом при постійних значеннях великої півосі та ексцентриситету. Усереднена середня аномалія практично рівномірно змінюється з часом і при періодичних змінах ексцентриситету місячної орбіти. Для обчислення *Mm* існують аналітичні вирази. Оскільки геоцентрична відстань мінімальна в перигеї (*Mm* = 0^o), а максимальна в апогеї (*Mm* = 180^o), то залежність характеристик землетрусів від *Mm* буде якимось чином описувати і залежність від *rm*.

Залежності *N*(*Mm*) розглянемо окремо для землетрусів на глибинах до 40 км та на більших глибинах (магнітуда більше 4, рис. 6). Для спрощення величина *Mm* змінюється від 0^o до 180^o. Значення, симетричні відносно лінії апсид (перигей – апогей) прирівнюються (240^o = 120^o), оскільки геоцентричні відстані Місяця при цих значеннях *Mm* однакові.

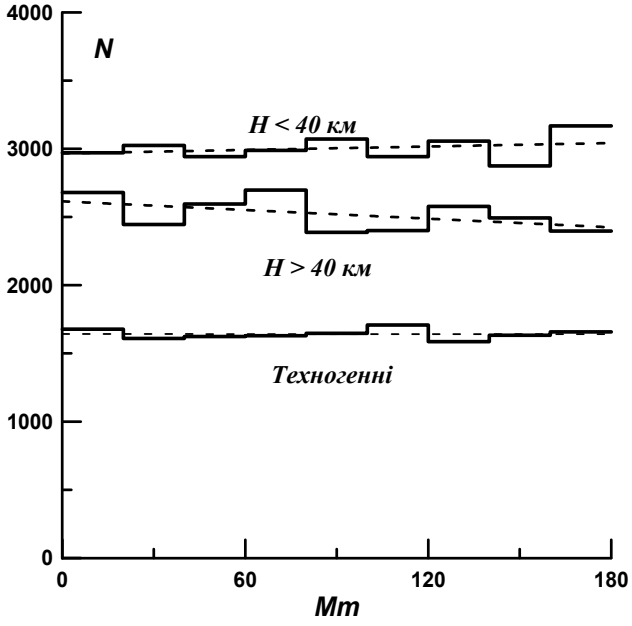

Рис. 6. Залежності кількості явищ на різних глибинах від *Mm*

Для порівняння наведена також залежність для техногенних явищ Для цієї залежності значення коефіцієнта *a* в рівнянні типу (1) становить 0.005. Тобто, усеред-

нена залежність практично горизонтальна, як це й має бути. Для залежностей при H <40 км та при H >40 км значення a становлять відповідно 0.42 та -1.06. Зараз важко сказати, що означає кожна із залежностей та як пояснити окремі локальні екстремуми на них. Для цього потрібно провести більш детальні дослідження. Але один висновок є очевидним, а саме: залежності $N(Mm)$ для землетрусів на глибинах менше 40 км та на глибинах більше 40 км істотно відрізняються. Використовуючи критерій Колмогорова-Смирнова, можна отримати, що відмінність між даними залежностями статистично значима на рівні вище "три сігма".

Враховуючи практичну горизонтальність залежності для техногенних явищ, можна цілком впевнено говорити про реальність впливу Місяця на кількість землетрусів. Причому такий вплив по різному проявляється для явищ, що відбуваються на різних глибинах. Даний висновок є важливим тому, що в попередніх публікаціях на цю тему про таку особливість не згадується.

Напевне для визначення особливостей впливу Місяця на землетруси, які допоможуть вийти на прогнозування сейсмічних явищ, потрібні більш детальні дослідження. Дослідження по окремих територіях, глибинах, магнітудах тощо. Наведені тут результати просто показують, що Місяць дійсно безпосередньо впливає сейсмічну активність на Землі і вивчення цього питання варто продовжувати.

Висновки. В роботі показано, що існує безпосередній, фізичний вплив Місяця на природні земні сейсмічні явища. Підтверджено існування залежності кількості землетрусів від кута фази Місяця.

Отримано, що залежність кількості землетрусів від положення Місяця на геоцентричній орбіті по різному проявляється для явищ на різних глибинах (до 40 км і понад 40 км).

Вивчення впливу Місяця за землетруси варто продовжувати із одночасним нарощування бази даних сейсмічних явищ.

1. *Bagby John P.* Further Evidence of Tidal Influence on Earthquake Incidence // The Moon. – 1973. – V. 6, I. 3-4. – P. 398-404. 2. *Chen L., Chen, J. G., Xu, Q. H.* Correlations between solid tides and worldwide earthquakes $M_S \geq 7.0$ since 1900 // Natural Hazards and Earth System Science. – 2012. – V. 12, I. 3. – P. 587-590. 3. *Chiou Lyndie* The Association of the Moon and the Sun with Large Earthquakes // arXiv. – 2012. – 1210.2695. 4. *Falb R.* The Earthquake at Manilla: its Theoretical Significance // Nature. – 1870. – V. 1, I. 24. – P. 604-605. 5. *Hu Hui, Wang Hui* Prediction of the first curtain of seismic activity in mainland China during 21st century // Publications of the Yunnan Observatory. – 2002. – V. 90, № 2. – P. 65-69. 6. *Kilston S., Knopoff L.* Lunar-solar periodicities of large earthquakes in southern California // Nature. – 1983. – V. 304. – P. 21-25. 7. *Klotz O.* Earthquakes, Phases of the Moon, Sub-Lunar and Sub-Solar Points // Journal of the Royal Astronomical Society of Canada. – 1914. – V. 8. – P. 273. 8. *Knopoff L.* Correlation of Earthquakes with Lunar Orbital Motions // The Moon. – 1970. – V. 2, I. 2. – P. 140-143. 9. *Li Kai-Wu* Evidence of earthquakes triggered by the tidal force of the sun and the moon // Acta Seismologica Sinica. – 1998. – V. 11, I. 5. – P. 637-644. 10. *Sadeh D. S., Meidav M.* Search for sidereal periodicity in earthquake occurrences // Journal of Geophysical Research. – 1973. – V. 78, I. 32. – P. 7709-7716. 11. *Weems R. E., Perry W. H. Jr.* Strong correlation of major earthquakes with solid-earth tides in part of the eastern United States // Geology. – 1989. – V. 17, I. 7. – P. 661.

Надійшла до редколегії 12.10.12

УДК 550.834+550.34.016+550.34.013.4

Д. Безродний, канд. геол. наук

ПРИНЦИПИ ВИЗНАЧЕННЯ РІЗНИХ БАЛІВ ТЕКТОНОФАЦІЙ ЗА ПЕТРОАКУСТИЧНИМИ ДАНИМИ НА ПРИКЛАДІ МЕТАМОРФІЧНИХ ПОРІД КРИВОРІЖЖЯ ("СУПУТНИК-2")

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

Розроблено методику петроакустичного аналізу тектонофацій, що дає можливість їх якісної та кількісної оцінки. Показано, що рівень деформаційних перетворень можливо оцінювати за величинами акустичної і пружної анізотропії.

Methodology of petroacoustic analysis of tectonic facies that enables the qualitative and quantitative assessment developed. Fact that the level of deformation changes may be measured by the values of the acoustic and elastic anisotropy is shown.

Вступ. Протягом останніх років все більше зростає інтерес до вивчення сейсмічної анізотропії земних надр. Ці дослідження представляють інтерес для вирішення багатьох проблем фізики Землі, регіональної геології і геофізики, зокрема, структурної геології і тектонофізики.

Стан проблеми Дослідження природи деформованих метаморфічних порід Криворіжжя базуються на парагенетичній основі, що враховує РТ-умови та реологічні властивості (характер деформації при тривалій дії напружень) середовищ, а також відповідні цим властивостям механізми дислокаційних перетворень порід [4]. При цьому використовується уявлення про структурно-реологічні обстановки – кататазону, мезозону та первинну й вторинну епізону. Подібні обстановки певною мірою співвідносяться з відомими петрологічними зонами Грубенманна [2]. Але від останніх відрізняються тим, що при їх виділенні, в першу чергу, враховуються реологічні фактори.

Важливою складовою тектонофаціального аналізу є метод тектонофацій, призначений для визначення відзначених умов та ступенів дислокаційних перетворень порід та середовищ у зонах зсувної течії за спеціально прийнятою десятибальною шкалою. Така шкала базується на сумі якісних та кількісних ознак дислокаційних перетворень порід, з урахуванням реологічних властивостей середовищ, на усіх (доступних для структурного аналізу) масштабних рівнях. В основу такої шкали покладено розрахунки компонент деформації геологічних тіл по кінематичних осях a (напрямок максимального видовження), b та c (напрямок максимального стиснення) на базі моделі еліпсоїду обертання [4], що характеризує простий зсув, а для високопластичних середовищ, крім того, – на базі еліпсоїда видовження-скорочення. У рамках такої шкали кожному балу перших восьми тектонофацій (ТФ I – VIII) відповідають десятиградусні інтервали (0-10°, 11-20°…71-80°) кута зсуву за моделлю еліпсоїда обертання, а двом останнім (ТФ IX – X) – відповідно п'ятиградусні інтервали (80-85°, 86-90°).

За результатами тектонофаціального аналізу, що були виконані О.І. Лукієнком, Є.І. Паталахою та В.В. Гончаром [3, 6] встановлено, що в Кривбасі крім добре вивченої крихкої розривної тектоніки широко розвинена і в'язка розривна тектоніка, яка тісно пов'язана з зональним метаморфізмом, що утворений амфіболітовою, епідот-амфіболітовою та зеленосланцьовою фаціями, і яка відіграє найбільш суттєву роль у формуванні тектонічної структури об'єкту досліджень.

Тектонічні деформації гірських порід проявляються в орієнтації кристалографічних осей мінералів, у видовженні або сплющуванні породотвірних мінералів та

© Безродний Д., 2012