

**Висновки.** 1. Всі представлені лінійні методи умовної та безумовної оптимізації розв'язку ОЗГ дають якісну картину розподілу щільності гірських порід (ЩГП), але з різним ступенем її відновлення, і їхні розв'язки можуть бути використані як стартові умови для будь-якого іншого методу, що забезпечує продовження відновлення поля до отримання стійкого та геологічно змістовного розв'язку в збіжному ітераційному процесі.

2. Методи, в критерії оптимізації (КО) яких входить ітераційна поправка до ЩГП, дають найбільше відновлення ЩГП та поля. Методи, в (КО) яких входить нев'язка поля, дають суттєве, але неповне відновлення ЩГП та поля.

3. Найбільшу геологічну ефективність мають лінеаризовані екстремально-відбіркові методи з сумісними критеріями, які об'єднують декілька простих КО, але тільки після того як буде зроблено декілька ітерацій для отримання стійкого та геологічно змістовного розв'язку ОЗГ рекомендованими вище стартовими методами (1)-(5), (11)-(14), (25)-(28).

**Перспективи подальших розвідок.** Варто розширити пошуки нових методів УО розв'язку ОЗГ, більш

ефективних по витратах комп'ютерного часу, але таких, які не знижують якості рішення ОЗ.

1. Андреев В.И., Соколовский К.И. Интерпретация материалов подземных гравитационных и магнитных наблюдений. – К., 1971. 2. Булах Е.Г. Об интерпретации гравитационных и магнитных аномалий на СЦВМ методом скорейшего спуска // Труды Всесоюзной науч.-техн. конф. – Новосибирск, 1963. – С. 1-7.
3. Кобрунов А.И. О методе оптимизации при решении обратной задачи гравиметрии // Изв. АН СССР. Физика Земли. – 1978. – № 8. – С. 73-78.
4. Миненко П.А. Оптимизационные линейные алгоритмы обработки геологической и геофизической информации при поисках рудных залежей // Проблемы разработки руд черных металлов: Сб. научн. тр. НИГРИ. – Кр. Пор., 1991. – С. 107-111.
5. Миненко П.А. Модификация метода регуляризации в ОЛЗГ для поисковых работ в кристаллических породах // Научный вестник НГУ. – Дн-ськ, 2006. – № 9. – С. 34-91.
6. Миненко П.А., Миненко Р.В. О поисках изригельных экстремальных решений обратной задачи магнитометрии при исследованиях на кристаллическом фундаменте // Научный вестник НГУ. – Днепропетровск, 2006. – № 9. – С. 39-44.
7. Старостенко В.И., Козленко В.Г., Костюкович А.С. Сейсмогравитационный метод: принципы, алгоритмы, результаты // Вестник АН УРСР. – К., 1986. – № 12. – С. 28-42.
8. Страхов В.Н. К теории линейной обратной задачи гравиметрии // ДАН СССР. – 1990. – 311, №5. – С. 1093-1096.
9. Страхов В.Н. К Про ефективні за швидкістю та точністю методи побудови лінійних аналітичних апроксимацій в геодезії, геоінформації та гравиметрії // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики: Сб. наук. пр. – К., 2005. – С. 12-57.
10. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. – М., 1979.

Надійшла до редколегії 29.09.12

УДК 624.131

Д. Мелконян, канд. фіз.-мат. наук

## САМООРГАНІЗОВАНА КРИТИЧНІСТЬ У ЗСУВНИХ ПРОЦЕСАХ ОДЕСЬКОГО УЗБЕРЕЖЖЯ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. М.Н. Жуковим)

*Вивчено особливості розподілу зсувів на ділянці Одеського узбережжя Ланжерон-Аркадія. Виявлено, що для зсувів Одеського узбережжя є характерними: просторова масштабна інваріантність; часова масштабна інваріантність (флікер-шум).*

*This study examines the landslide distribution features on the Odessa coast Lanzheron-Arkadia. It is revealed, that the Odessa coast landslides exhibit spatial and temporal scale invariance (flicker noise) behaviour.*

**Вступ.** Вивчення зсувних процесів, як у просторовому, так і в часовому вимірі в конкретних регіональних умовах є важливим комплексним завданням геодезичної, геологічної, геодинамічної та гідрологічної практики. Просторово-часові характеристики зсувних процесів особливо повно повинні враховуватися при проектуванні, будівництві й експлуатації складних інженерних споруд.

Мета статті полягає у виявленні властивостей самоорганізованої критичності у зсувних процесах на ділянці Одеського узбережжя Ланжерон-Аркадія. У зв'язку з цим здійснено аналіз факторів формування і розвитку зсувів; вивчено динаміку зсувів ділянки Ланжерон-Аркадія та закономірності розподілу площ зсувних тіл в часі і в просторі.

У геологічній будові схилів досліджуваної ділянки узбережжя можна виділити такі різновиди порід: лесоподібні суглинки, червоно-бурі глини і суглинки, меотичні глини; понтичні вапняки; піщані прошарки та лінзи з напірними водами і лігнізовані глини (потенційна зона зсуву); зсувні глинисті накопичення, в яких втоплені роздроблені брили вапняку. Зсувні накопичення представлені лесоподібними суглинками, червоно-бурими глинами, вапняками і піщано-глинистими відкладами меотису.

Основним зсувоутворюючим фактором на північно-західному узбережжі Чорного моря є абразія [2]. Проте на Одеському узбережжі також розвиваються зсуви, зміщення яких визначається не тільки розмивом порід морем, але й іншими процесами, наприклад, тектонічними рухами [4], коливанням рівня підземних вод [3], атмосферними опадами [1], коливанням температури та ін.

За літолого-геодинамічними ознаками на Одеському узбережжі виділяються чотири типи зсувів [2]. Було опрацьовано дані спостережень за п'ятдесятма зсувами II типу на ділянці Ланжерон-Аркадія в період з 1945 по 1964 рр. Зсуви II типу – це зміщення лесоподібних

порід четвертинного віку по верхньопліоценових червоно-бурих глинах.

Протягом всього періоду спостережень на досліджуваній ділянці майже щорік спостерігаються невеликі заколи плато, які відчленяють ділянки, складені лесоподібними породами. Ці зміщення викликані підвищеною вологістю, що обумовлено наявністю водоносного горизонту в четвертинних відкладах, а також надмірною інфільтрацією опадів та витоків з каналізаційної системи [2].

З досвіду дослідників, які займаються мапуванням зсувів [7], відомо, що частота появи зсувів як функція їх магнітуди (тобто ураженої площі) може бути охарактеризована за степеневим законом в багатьох районах. Такий характер розподілу зсувів був виявлений як при мапуванні природних зсувів [7], так і в лабораторних експериментах [8]. Важливим результатом цих досліджень є виявлена степенева залежність між частотою появи зсувів ( $K_N$ ) і ураженою зсувами площею ( $A$ ). Проте такі дослідження для Одеських зсувів не проводилися. Розподіл зсувів за степеневим законом, який називають також фрактальним або масштабно-інваріантним розподілом, може відігравати важливу роль в розвитку ландшафту [6].

Одним з видів самоорганізації дисипативних систем є самоорганізована критичність. Концепція самоорганізованої критичності була розроблена П. Баком та ін. в 1987 році і була застосована до фізичних, геофізичних, біологічних та інших явищ [5].

Система виявляє самоорганізовано-критичний характер [6; 9], якщо: а) має тенденцію переходити в нерівноважний стан (критичний стан), де б) розподіл розмірів явища (наприклад, уражена зсувами площа або площа зсувних тіл) є масштабним інваріантом (просторова масштабна інваріантність), і де в) поведінка в часі є флікер-шумом  $1/f$  (часова масштабна інваріантність).

© Мелконян Д., 2012

**Результати аналізу фактичного матеріалу.** Здійснений нами аналіз даних спостережень за 50-тма зсувами II типу за період з 1945 по 1964 рр показує, що зсувам Одеського узбережжя притаманні властивості самоорганізованої критичності. Рис. 1 демонструє інтегральний зв'язок "частота – площа" для зсувів на ділянці Одеського узбережжя Ланжерон-Аркадія (вісь X – інтегральна площа зсувного тіла, вісь Y – інтегральна частота появи зсувів). З рисунку видно, що існує степеневая залежність між частотою прояву зсувів  $K_N$  і площею зсувного тіла  $S$  (як того і вимагає умова самоорганізованої критичності):

$$K_N = CS^{-b} \quad (1)$$

Для співвідношень подібних (1) збільшення площі зсувного тіла в  $X$  разів відповідає зменшенню частоти прояву зсувів в  $X^b$  разів (у нашому випадку  $X^{1,15}$  разів,

тобто порядок площі зсувного тіла  $b=1,15$ ; постійна процесу  $C=1,05$ , рис. 2).

На кривій (рис. 1, в подвійному логарифмічному масштабі) збіг із степеневим законом спостерігається приблизно при порядках величини площі  $> 6,7 \times 10^{-3} \text{ км}^2$  і  $< 2,5 \times 10^{-2} \text{ км}^2$ , тобто в цих межах площ спостерігається просторовий масштабно-інваріантний характер розподілу зсувів, що свідчить про самоподібність зсувів на цих ділянках. Аналогічні процеси і ділянки середовища називають саморегульованими, тобто здатними до самоорганізації. Просторова масштабна інваріантність означає відсутність характерних розмірів площ, на яких виявляються зсуви.

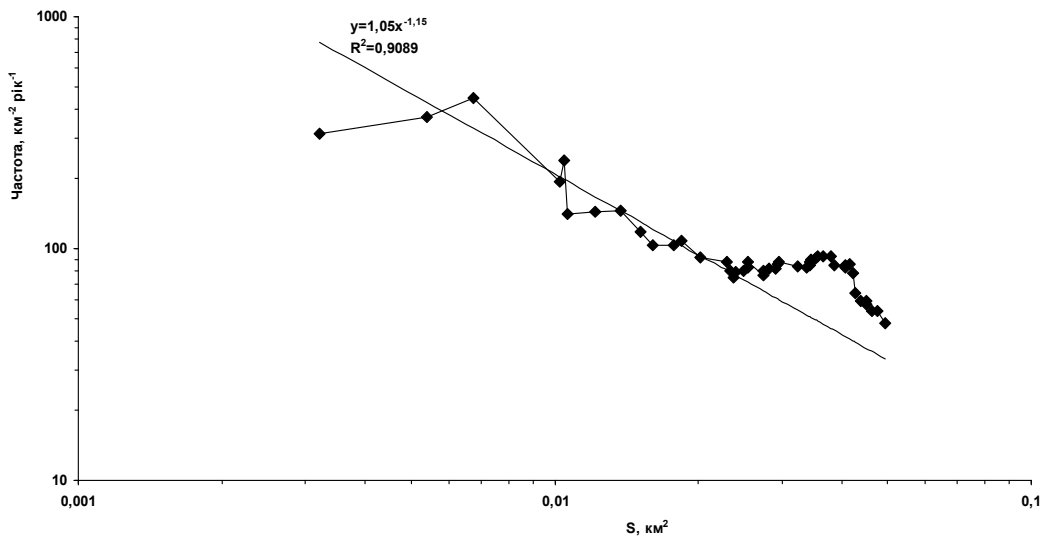


Рис. 1. Розподіл частот появи зсувів на ділянці Одеського узбережжя Ланжерон-Аркадія

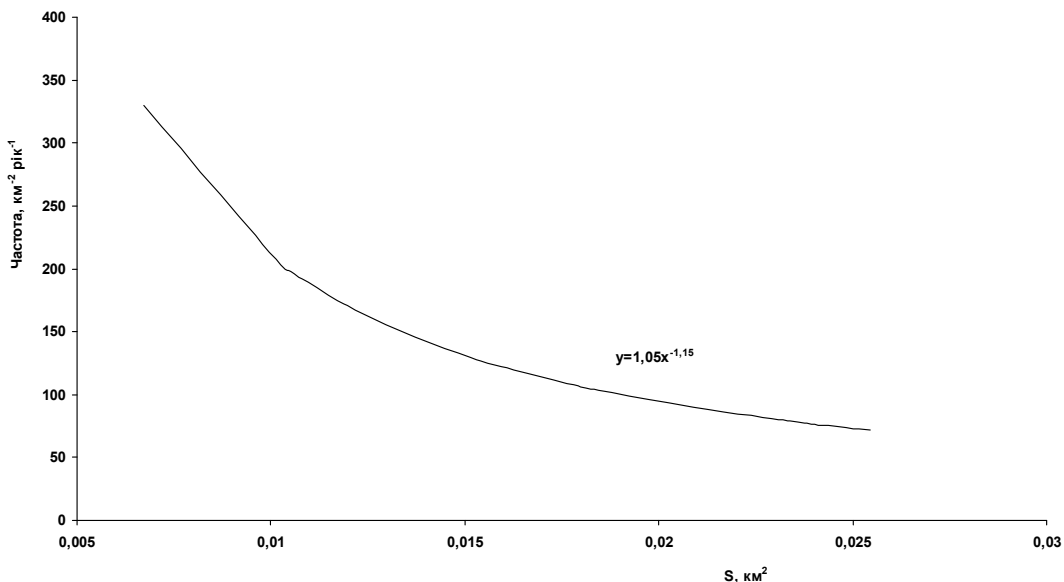


Рис. 2. Розподіл частот появи зсувів з площею зсувних тіл  $6,7 \times 10^{-3} \text{ км}^2 < S < 2,5 \times 10^{-2} \text{ км}^2$  на ділянці Ланжерон-Аркадія

Таким чином, співвідношення (1) в подвійному логарифмічному масштабі лінійно пов'язує просторові характеристики з частотою прояву зсувів  $K_N$  в межах площ  $6,7 \times 10^{-3} \text{ км}^2 < S < 2,5 \times 10^{-2} \text{ км}^2$  на ділянці Ланжерон-Аркадія. Про це свідчить рис. 2. Інакше кажучи, лінійна ділянка виявляється в межах вказаних площ;

поза цими межами площ розподіл даних відхиляється від степеневого закону, що, можливо, пов'язано з масштабами системи.

Для виявлення часового масштабно-інваріантного характеру зсувів (скейлінгові властивості) ми побудували криві спектрів потужностей площ відколотих зсувних тіл в часі (рис. 3).

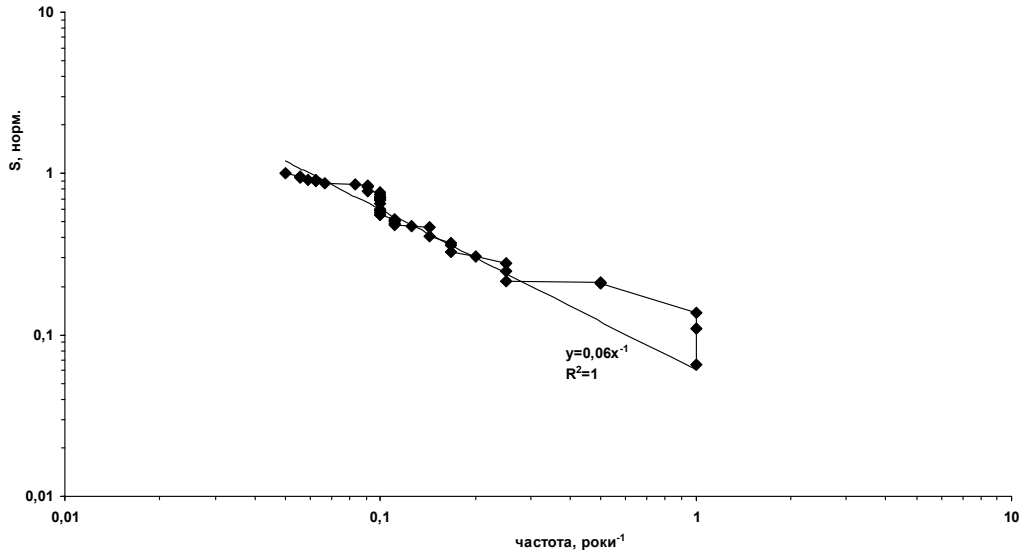


Рис. 3. Розподіл площ зсувних тіл в часі на ділянці Одеського узбережжя Ланжерон-Аркадія

Спектр потужності зсувних тіл має  $1/f$  характер:  $f^{-1.0}$  (умова самоорганізованої критичності), тобто характер, який загалом приймається як  $1/f$  шум. Степеневий закон (з мірою 1,0) виявляється в межах  $(10^{-0.1} - 10^{-0.6}) \text{ роки}^{-1}$ , рис. 3. Постійна процесу складає

0,06 (рис. 4). Для порівняння зазначимо, що в [6; 7] при моделюванні зсувних процесів і перевірці їх властивості самоорганізованої критичності величина степеня становить 1,10 та 1,16, відповідно.

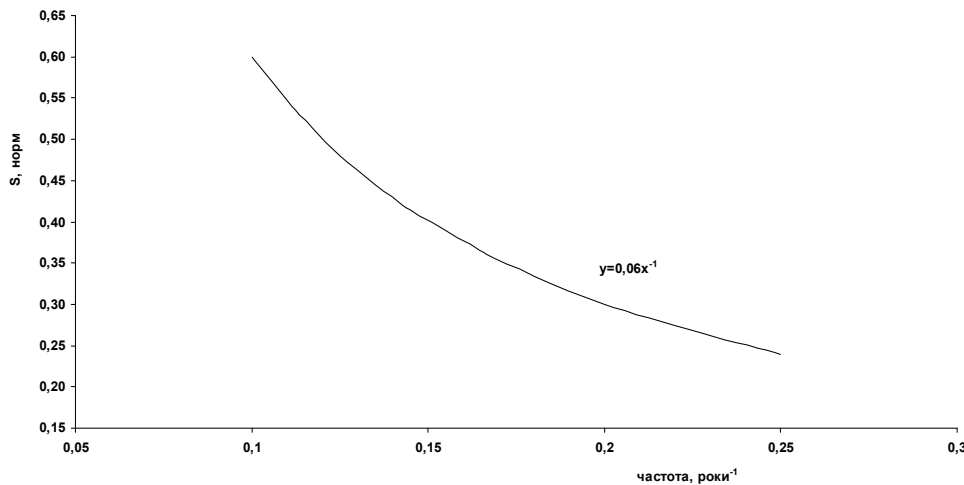


Рис. 4. Розподіл площ зсувних тіл в часі, в межах  $(10^{-0.1} - 10^{-0.6}) \text{ роки}^{-1}$ , на ділянці Ланжерон-Аркадія

Таким чином, дослідження показує, що зсувні процеси спільно з силами, що викликають ці процеси на Одеському узбережжі, можна розглядати як явище самоорганізованої критичності. Виявлені закономірності розподілу зсувів на дослідженій ділянці можуть відігравати певну роль в еволюції ландшафту місцевості. Крім того, врахування цих закономірностей буде корисним при складанні мап ураженості зсувами і здійсненні протизсувних заходів.

**Висновки.** Зсувам Одеського узбережжя притаманні властивості самоорганізованої критичності, а саме:

- нелінійність внутрішньої динаміки зсувних процесів;
- просторова масштабна інваріантність, що призводить до фрактальної просторової самоподібності. Виявлена степенева залежність між частотою прояву зсувів  $K_N$  і площею зсувного тіла  $S$ . Степеневий закон спостерігається при порядках величини площі

$> 6,7 \times 10^{-3} \text{ км}^2$  та  $< 2,5 \times 10^{-2} \text{ км}^2$ . Порядок площі зсувного тіла  $b=1,15$ ;

- часова масштабна інваріантність: частотний спектр площ зсувних тіл є флікер-шумом. Частотний спектр потужності зсувних тіл має  $1/f$  характер:  $f^{-1.0}$ . Степеневий закон (з мірою 1,0) виявляється в межах  $(10^{-0.1} - 10^{-0.6}) \text{ роки}^{-1}$ .

1. Емельянова Е.П. Основные закономерности оползневых процессов. – М., 1972.
2. Оползни северо-западного побережья Черного моря, их изучение и прогноз: Монография / И.П. Зелинский, Б.А. Корженевский, Е.А. Черкез и др.; под ред. И.П. Зелинского. – К., 1993.
3. Черкез Е.А., Мелконян Д.В. Оценка роли факторов формирования и развития оползней Одесского побережья // Вісн. Одеськ. ун-ту. Сер. Географічні та геологічні науки. – 2009. – Т. 14, Вип. 16. – С. 268-279.
4. Шмуратко В.И. Гравитационно-резонансный экзотектогенез. – Одесса, 2001.
5. Bak P. How nature works: the science of self-organized criticality. – New York, 1996.
6. Hergarten S. Self-organized criticality in a landslides model // Geophys. Res. Lett. – 1998. – Vol. 25, № 6. – P. 801-804.
7. Hovius C., Stark C.P., Allen P.A. Sediment flux from a mountain belt derived by landslide mapping // J. Geology. – 1997. – Vol. 25, № 3. – P. 231-234.
8. Somjai E., Czirók A., Viscek T. Power-law distribution of landslides in an experiment on the erosion of a granular pile // J. Phys.: Math Gen. – 1994. – 27. – P. L757-L763.
9. Turcotte D.L. Self-organized criticality // Rep. Prog. Phys. – 1999. – Vol. 62. – P. 1377-1429.