УДК 54.027:546.22:549.76:551.44
DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.90.07>

М. Хом'як, канд. фіз.-мат. наук, доц.,
E-mail: KhomNick98@gmail.com;
Львівський національний університет ім. Івана Франка,
Геологічний факультет, вул. Грушевського, 4, м. Львів, 79005, Україна;
Д. Малицький, д-р фіз.-мат. наук, проф.,
E-mail: dmytro@cb-igph.lviv.ua;
О. Асташкіна, канд. геол. наук, наук. співроб.,
E-mail: sac1@ukr.net;
М. Махніцький, пров. інж.,
E-mail: caponerules@meta.ua;
С. Кравець, канд. геол. наук, наук. співроб.,
E-mail: sergiy@cb-igph.lviv.ua;
А. Микита, пров. інж.;
О. Грицай, канд. геол. наук, наук. співроб.;
Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України,
вул. Наукова, 3-б, м. Львів, 79060, Україна

РЕГРЕСІЙНИЙ АНАЛІЗ СЕЙСМІЧНИХ І ГЕОФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СЕЙСМІЧНОСТІ ЗАКАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром фіз.-мат. наук, проф. З.О. Вижвою)

Метою даної роботи є інтерпретація експериментальних даних (деформаційних, геоакустичних і параметрів вогнища землетрусу) і встановлення їхнього зв'язку із сейсмічністю Закарпатського регіону з використанням статистичного (регресійного) аналізу. Описано взаємозв'язки геофізичних параметрів, а саме: деформації, геоакустичної емісії та сейсмічних характеристик – магнітуди та енергетичного класу. Для побудови статистичної (регресійної) моделі використано геоакустичні й деформаційні дані за період 2014 р., а також дані сейсмологічного каталогу, надані відділом сейсмічності Карпатського регіону (Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України). Статистичну модель сейсмічності побудовано для того, щоб проаналізувати різні геофізичні параметри і за допомогою регресійного аналізу встановити їхній взаємозв'язок між собою. Цей взаємозв'язок дасть можливість зрозуміти, яким чином сейсмічність впливає на зміну тих чи інших параметрів середовища Закарпатського регіону. Деформаційні й геоакустичні дані, що використовуються в роботі, отримано на режимній геофізичній станції "Берегове" і пункті спостережень "Яноші" (Закарпаття). Приведено основні формули регресійного аналізу, які використовуються для побудови лінійної статистичної моделі. За даними із сейсмічного каталогу побудовано графік залежності між енергетичним класом (K) і магнітудою (MD) за період 2002–2016 рр., що підтвердило їхню залежність, а також побудовано гістограму сейсмічної активності за період 2002–2016 рр., з якої впливає, що найбільша кількість подій відбулася в 2015 р. Наведено таблиці, за якими побудовано графіки залежності сейсмічності від деформації та геоакустики. Показано залежність між магнітудою (MI) та поштовхом по розриву ($Ig DP$) за глибиною. Дослідження проводились для різних глибин: 1) до 2 км; 2) від 2–5 км; 3) від 5–10 км і 4) від 10 км і більше. Результати показали, що чим більша глибина, тим більше спостерігається залежність між MI та $Ig DP$. Такі дослідження потрібні для виявлення впливу сейсмічності на зміну інших параметрів середовища, зокрема температури, характеристик вогнищ землетрусів, що дасть змогу побудувати діючу модель сейсмічності Закарпатського регіону.

Ключові слова: регресійний аналіз, сейсмічність Закарпатського регіону, деформації, геоакустична емісія.

Вступ. Закарпаття – регіон України, де реєструються місцеві землетруси. Територія області належить до сейсмічно небезпечних ділянок земної кори. Для вивчення і прогнозування небезпечних явищ необхідно знати характеристики сучасного геодинамічного стану, які можна отримати, проводячи комплексні режимні геофізичні спостереження (Назаревич, 2011; Назаревич та Назаревич, 2002; Соболев та Пономарев, 1999; Починайко та ін., 1996). Деформаційні дані, які використано в роботі, записані лазерним деформографом на режимній геофізичній станції (РГС) "Берегове", а геоакустичні дані записані геоакустичною апаратурою ЗУА-6 на пункті спостережень (п.с.) "Яноші" (Малицький та ін., 2015, 2017).

Регресія є статистичною моделлю мінливості даних, що не обов'язково виявляє справжні причинно-наслідкові зв'язки у процесах чи явищах, яких стосуються ці вимірювання. Однак вона має служити меті проникнення в суть явищ, їхньому кількісному опису, а також є зручною на практиці, наприклад для прогнозних розрахунків з наперед відомою оцінкою вірогідності їхніх результатів. (Девіс, 1990; Хом'як, 2004; Малицький та ін., 2017).

Для розрахунків і побудови регресійної моделі сейсмічності ми використовуємо лінійну регресію, яка має такий вигляд (Девіс, 1990; Хом'як, 2004):

$$y(x) = a \cdot x + b, \quad (1)$$

де x , y – параметри регресії; a , b – коефіцієнти регресії.

У нашому випадку за змінну x відповідає масив значень для геоакустики G , а замість y – значення деформації D . Сталі величини a і b в рівнянні (1) потрібно визначити. (Девіс, 1990; Хом'як, 2004).

Головною властивістю рівняння регресії, яке ми використовуємо, є те, що вона мінімізує суму квадратів (дисперсію) відхилень точок на лінії від експериментальних даних, а саме:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - y(x_i))^2 = \sum_{i=1}^n (\Delta y_i)^2 \rightarrow \min. \quad (2)$$

Для визначення параметрів рівняння регресії використовується метод найменших квадратів. Виконавши диференціювання рівняння (2) по величинах a і b , отримаємо таку систему рівнянь (Девіс, 1990; Хом'як, 2004):

$$\frac{\partial f(a, b)}{\partial a} = \sum_{i=1}^n (ax_i + b - y_i) x_i = 0 \Rightarrow \quad ; \quad (3)$$

$$\Rightarrow a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i y_i$$

$$\frac{\partial f(a, b)}{\partial b} = \sum_{i=1}^n (ax_i + b - y_i) \cdot 1 = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n 1 = \sum_{i=1}^n y_i$$

У матричному вигляді матимемо

$$\begin{bmatrix} \sum x_i^2 & \sum x_i \\ \sum x_i & n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum x_i y_i \\ \sum y_i \end{bmatrix} \quad (4)$$

Із рівняння (4) визначаємо значення для параметрів рівняння регресії a і b (Хом'як, 2004).

Для перевірки нашої регресійної моделі сейсмічності взято дані зі сейсмічного каталогу, а саме енергетичний

клас (K) і магнітуду (MD) за період 2002–2016 рр., і побудовано залежність між ними (рис. 1). Енергетичний клас із магнітудою пов'язує така формула:

$$MD = a \times K - b. \quad (5)$$

Рис. 1. Графік залежності між K і MD за період 2002–2016 рр., який отримано за регресійним аналізом, використовуючи дані з табл. 1

Отже, використавши регресійний аналіз до енергетичного класу (K) і магнітуди (MD), підтверджено їхній зв'язок.

Як ми відзначали, для статистичного аналізу ми використовуємо сейсмічні дані з каталогів землетрусів, у яких є такі параметри: магнітуда (MD), глибина залягання вогнища (h) і енергетичний клас (K) (табл. 1). Між енергетичним класом (K) і сейсмічною енергією (E) кожної події існує зв'язок (Вербицький та Назаревич, 2005)

$$K = \lg E. \quad (6)$$

У табл. 1 наведено фрагменти сейсмічних даних за період 2002–2016 рр.

За весь період із 2002 по 2016 рр. на території Закарпаття відбувся 571 землетрус.

На рис. 3 представлена гістограма сейсмічної активності з 2002 по 2016 рр.: вісь ординат – кількість подій N , вісь абсцис – час t .

Рис. 2. Гістограма сейсмічної активності з 2002 по 2016 рр.

Згідно з гістограмою (рис. 4), найбільша сейсмічність спостерігалась у 2015 р.: зареєстровано 105 сейсмічних подій. Найменшу кількість подій зареєстровано в 2003 (тільки 5 сейсмічних подій). Також висока сейсмічна активність була в 2006 р., коли відбулось 88 подій.

У табл. 2 наведено дані, які використано для побудови лінійної регресійної моделі. Значення першої колонки взято з каталогу, масив значень для акустики отримано на п. с. "Яноші", а значення деформацій – на РГС "Берегове".

На території Закарпаття протягом 2014 р. відбулося 57 сейсмічних подій з різною інтенсивністю. Для нашого

Таблиця 1

Приклад сейсмічних даних за період 2002–2016 років

Дата події	MD	K	h
07 лютого 2002 р.	1,7	7,4	6,0
14 лютого 2002 р.	2,1	7,4	6,0
13 березня 2002 р.	1,6	7,5	6,0
04 червня 2002 р.	0,7	6,2	6,0
09 серпня 2002 р.	2	8,2	6,0
10 вересня 2002 р.	1,1	7,4	32,0
10 вересня 2002 р.	1,3	4,3	6,0
10 вересня 2002 р.	1,3	4,4	6,0
10 вересня 2002 р.	0,4	4,6	6,0
10 вересня 2002 р.	0,7	6,0	6,0
10 вересня 2002 р.	0,4	4,9	6,0
10 вересня 2002 р.	0,8	6,7	6,0
13 вересня 2002 р.	0,5	6,4	6,0
13 вересня 2002 р.	0,4	5,0	6,0
.....			
15 січня 2016 р.	1,0	5,6	6,0
27 січня 2016 р.	1,5	6,6	2,0
13 березня 2016 р.	0,9	5,8	6,0
06 квітня 2016 р.	1,6	6,7	7,1
14 квітня 2016 р.	0,7	5,9	5,2
18 травня 2016 р.	0,8	5,7	2,0
17 червня 2016 р.	1,4	6,9	6,6
30 червня 2016 р.	1,9	7,9	5,0
03 липня 2016 р.	1,1	5,8	2,0
16 липня 2016 р.	0,8	5,9	2,0
31 серпня 2016 р.	0,9	5,7	13,1
01 жовтня 2016 р.	1,8	7,6	1,0
12 жовтня 2016 р.	1,1	6,0	5,0
31 жовтня 2016 р.	0,9	5,4	2,0
08 листопада 2016 р.	0,8	5,3	2,0
08 листопада 2016 р.	1,2	5,6	5,0
27 листопада 2016 р.	1,3	6,4	2,0
28 листопада 2016 р.	1,7	6,9	2,0
29 листопада 2016 р.	0,7	5,2	12,2
03 грудня 2016 р.	1,1	6,3	2,0
07 грудня 2016 р.	0,9	6,0	2,0
12 грудня 2016 р.	1,2	4,5	2,0
13 грудня 2016 р.	1,5	6,9	2,0
24 грудня 2016 р.	1,4	6,5	2,0

дослідження нами було взято 29 із них; це пов'язано з відсутністю даних за січень і майже весь лютий для геоакустичних і майже весь листопад і грудень для деформаційних спостережень.

Визначимо значення для параметрів рівняння регресії a і b . Як результат для лінійного рівняння регресії (1) отримано такі значення для коефіцієнтів: $a = -0,028$, $b = 2,268$, а коефіцієнт регресії $R^2 \approx 0,1$. Варто зазначити, що для перевірки значущості коефіцієнта кореляції використовують заокруглення стосовно порівняння з 0,5. Таким чином, значення коефіцієнта кореляції $R \approx 0,3$ указує на існування кореляції між цими параметрами.

Таблиця 2
Геофізичні дані за період: березень – листопад 2014 р.
для побудови лінійної регресійної моделі
для Закарпатського регіону

Події за 2014 р.	G (геоакустика)	D (деформації)
06.03	-0,63	2,31
16.03	-0,63	2,31
26.03	-0,31	2,30
29.03	-0,16	2,33
03.04	0,16	2,36
07.04	-1,25	2,41
12.04	-1,56	2,39
26.04	1,09	2,43
28.04	-0,78	2,42
29.04	-0,78	2,44
23.05	1,88	2,35
26.05	2,19	2,34
27.05	2,03	2,34
28.05	1,72	2,33
02.06	-2,34	2,31
04.06	-2,19	2,30
07.06	-1,88	2,29
08.06	-1,56	2,30
10.06	-1,56	2,31
30.06	-0,16	2,25
09.08	-1,09	2,18
19.08	-1,25	2,16
24.08	0,78	2,19
10.09	-0,47	2,17
06.10	1,88	2,12
24.10	-1,56	2,05
31.10	2,97	2,03
01.11	2,81	2,02
03.11	2,97	2,02

На рис. 1 наведено графік взаємозв'язку між геоакустикою та деформаціями за 2014 рік, який отримано за статистичним аналізом на фоні сейсмічності регіону.

На рис. 4 наведено графік взаємозв'язку між геоакустикою та деформаціями за три місяці (із серпня по листопад 2014 р., середньодобові значення).

Рис. 3. Графік кореляції між D і G із сейсмічністю (табл. 1)

Рис. 4. Графік кореляції між D і G за три місяці (середньоденні значення)

На рис. 5 показано, як змінювались деформаційні дані (D) (рис. 5, а) і геоакустичні дані G (рис. 5, б) із часом за період 8 місяців 2014 року. Для побудови цих графіків використано дані з березня по листопад 2014 р.

Рис. 5. Графік зміни (а) деформаційних даних (D) і (б) геоакустичних даних (G) із часом (t) за період 8 місяців 2014 р.

Наступний етапом досліджень є застосування регресійної моделі сейсмічності до параметрів вогнища землетрусу. Нами розглянуто 50 землетрусів за 2012–2014 рр. та визначено їхні параметри (DP – посувка по розриву, L, D, A – довжина, ширина і площа розриву відповідно та ін.).

Нижче наведено графіки, на яких показано залежність між посувкою по розриву DP і магнітудою MI (рис. 6). Сейсмічні події були розбиті на чотири групи залежно від глибини (до 2 км, від 2 до 5 км, від 5 до 10 км, від 10 км і більше) (Thingbaijam et al., 2017).

Рис. 6. Графік кореляції між середньою посушкою по розриву (lgDP) і магнітудою (MI) на глибинах:
а – до 2 км; б – від 2 до 5 км; в – від 5 до 10 км; г – більше ніж 10 км

Висновки. Використовуючи сейсмічний каталог за період 2002–2016 рр., побудовано графіки залежності між геоакустикою і деформаціями, і магнітудою та енергетичним класом, а також наведено гістограму сейсмічної активності за даний період. На основі регресійного аналізу підтверджено залежність магнітуди від енергетичного класу. Застосовувавши статистичний (регресійний) аналіз до геоакустичних і деформаційних даних, підтверджено взаємозв'язок між ними. Отримано результати регресійного аналізу між посушкою по розриву і магнітудою, що показують: чим більша глибина залягання вогнища, тим більший коефіцієнт детермінації. У подальшому такі дослідження потрібні для виявлення впливу сейсмічності на зміну інших параметрів середовища, зокрема температури, характеристик вогнищ землетрусів, що дасть змогу побудувати діючу модель сейсмічності Закарпатського регіону.

Список використаних джерел

- Вербицький, Т.З., Назаревич, А.В. (2005). Деформографічні і геоакустичні дослідження у Закарпатті. Дослідження сучасної геодинаміки Українських Карпат. Під ред. В.І. Старостенка. Київ: Наук. думка, 113–131.
- Девіс, Дж. (1990). Статистический анализ данных в геологии. У 2 кн. М.: Недра.
- Малицький, Д., Назаревич, А., Асташкіна, О., Коваль, Ю., Махніцький М., (2015). Геоакустичні спостереження на пункті "Яноші" у Закарпатті. *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 1(68), 39–43.
- Малицький, Д., Хом'як, М., Асташкіна, О., Махніцький, М., Микита, А., Кутнів, О., Коваль, Ю. (2017). Лінійна регресійна модель як частина геофізичного моніторингу сейсмотектонічних процесів Карпатського регіону. *Матеріали наукової конференції-семінару "Сейсмологічні та геофізичні дослідження в сейсмоактивних регіонах"*, Львів: Сполом, 30–34.
- Назаревич, А.В. (2011). Методико-апаратні проблеми моніторингових геофізичних досліджень та шляхи їх розв'язання (на прикладі геофізичного сейсмопрогностичного моніторингу в Закарпатті). *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 55, 57–60.
- Назаревич, А.В., Назаревич, Л.Є. (2002). Параметричні сейсмогеоакустичні методи і комплексні технології моніторингу природних і техногенних геодинамічних процесів та прогнозу катастроф. *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 23–24, 43–47.
- Починайко, Р., Микита, А., Лудзян, Л. (1996). Приймання супутникової інформації в системі геодинамічного моніторингу. *Зб. тез міжнар. симпозиуму "Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища"*, Алушта–Львів, 16.

Соболев, Г.А., Пономарев, А.В. (1999). Акустическая эмиссия и стадии подготовки разрушения в лабораторном эксперименте. *Вулканология и сейсмология*, 4–5, 50–62.

Хом'як, М.М. (2004). Геостатистика. Ч. 2. Вступ до дисперсійного, кореляційного та регресійного аналізу. Львів: Видав. центр ЛНУ імені Івана Франка.

Thingbaijam, KKS, Mai, P.M., Goda, Katsuichiro. (2017). New Empirical Earthquake Source-Scaling Laws. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 107, 5, 2225–2246.

References

- Devis, Dzh. (1990). Statisticheskiy analiz dannykh v geologii. In 2 books. M.: Nedra. [in Russian]
- Hom'yak, M.M. (2004). Geostatistika. Prt. 2. Vstup do dispersynogo, korelyatsynogo ta regresynogo analizu. Lviv: Vidavnychiy tsentr LNU imeni Ivana Franka. [in Ukrainian]
- Malitskiy, D., Hom'yak, M., Astashkina, O., Mahnlitskiy, M., Mikita, A., Kutniv, O., Koval, Yu. (2017). Linynya regreslyna model yak chastina geofizichnogo monitringu seysmotektonichnih protsesiv Karpatskogo regionu. *Materiالي naukovoyi konferentsiyi-seminaru "Seysmologichni ta geofizichni doslidzhennya v seysmoaktivnih regionah"*, Lviv: Spolom, 30–34. [in Ukrainian]
- Malitskiy, D., Nazarevich, A., Astashkina, O., Koval, Yu., Mahnlitskiy, M., (2015). Geoakustichni sposterezhennya na punkti "Yanoshi" u Zakarpatti. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1(68), 39–43. [in Ukrainian]
- Nazarevich, A.V. (2011). Metodiko-aparaturni problemi monitringovih geofizichnih doslidzhen ta shlyahi yih rozv'yazannya (na priklad geofizichnogo seysmoprognostichnogo monitringu v Zakarpatti). *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 55, 57–60. [in Ukrainian]
- Nazarevich, A.V., Nazarevich, L.E. (2002). Parametrichni seysmogeakustichni metodi i kompleksni tehnologiyi monitringu prirodnih ta tehnogennih geodinamichnih protsesiv ta prognozu katastrof. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 23–24, 43–47. [in Ukrainian]
- Pochinayko, R., Mikita, A., Ludzyan, L. (1996). Priymannya suputnikovoyi informatsiyi v sistemi geodinamichnogo monitringu. *Zb. tez mizhnar. simpoziumu "Geoinformatsyniy monitring navkolishnogo seredovischa"*, Alushta–Lviv, 16. [in Ukrainian]
- Sobolev, G.A., Ponomarev, A.V. (1999). Akusticheskaya emissiya i stadii podgotovki razrusheniya v laboratornom eksperimente. *Vulkanologiya i seysmologiya*, 4–5, 50–62. [in Ukrainian]
- Thingbaijam, KKS, Mai, P.M., Goda, Katsuichiro. (2017). New Empirical Earthquake Source-Scaling Laws. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 107, 5, 2225–2246.
- Verbitskiy, T.Z., Nazarevich, A.V. (2005). Deformografichni i geoakustichni doslidzhennya u Zakarpatti. *Doslidzhennya suchasnoyi geodinamiki Ukrainy Karpat*. Eds. V.I. Starostenko. Kyiv: Nauk. dumka, 113–131. [in Ukrainian]

Надійшла до редколегії 29.04.20

M. Homyak, Cand. Sci. (Phys.-Math.), Assoc. Prof.,
E-mail: KhomNick98@gmail.com;
Faculty of Geology, Ivan Franko Lviv National University,
4 Grushevskogo Str., Lviv, 79005, Ukraine;
D. Malitskiy, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.,
E-mail: dmytro@cb-igph.lviv.ua;
O. Astashkina, Cand. Sci. (Geol.), Researcher,
E-mail: sac1@ukr.net;
M. Makhnitskiy, Leading Engineer,
E-mail: caponerules@meta.ua;
S. Kravets, Cand. Sci. (Geol.), Researcher,
E-mail: sergiy@cb-igph.lviv.ua;
A. Mykyta, Leading Engineer;
O. Grycai, Cand. Sci. (Geol.), Researcher;
Subbotin Institute of Geophysics of NAS of Ukraine,
3-b Naukova Str., Lviv, 79060, Ukraine

REGRESSION ANALYSIS OF THE SEISMIC AND GEOPHYSICAL PARAMETERS AND ITS APPLICATION FOR SEISMICITY STUDY OF THE TRANSCARPATHIAN REGION

The purpose of this work is to interpret the experimental data (deformation, geoacoustic and earthquake parameters) and to establish their relation with the seismicity of the Transcarpathian region using statistical (regression) analysis. The correlation of geophysical parameters is described, namely: deformation, geoacoustic emission and seismic characteristics of magnitude and energy class. For construction of the statistical (regression) model, geoacoustic and deformation data for the period of 2014, as well as data of the seismological catalog provided by the seismicity department of the Carpathian region (Subbotin Institute of Geophysics of NAS of Ukraine) were used. The statistical model of seismicity is built to analyze various geophysical parameters and to establish their relationship with each other by means of regression analysis. This interconnection will give an opportunity to understand how seismicity influences the change of various environmental parameters of the Transcarpathian region. The deformation and geoacoustic data used in the work were obtained at the mode geophysical station (MGS) "Beregove" and the observation point "Janoshi" (Transcarpathia). The basic regression analysis formulas used to construct a linear statistical model are given. According to the seismic catalog, a graph of dependence between energy class (K) and magnitude (MD) for the period 2002–2016 was constructed, which confirmed their dependence, as well as a histogram of seismic activity for the period 2002–2016, from which it follows that the largest number of events was in 2015. The tables, on which graphs of seismicity dependence on deformation and geoacoustics, are presented. The relationship between the magnitude (MI) and the offset shift (lg DP) in depth (h) is shown. Studies were conducted for different depths: 1) up to 2 km, 2) from 2–5 km, 3) 5–10 km and 4) from 10 km or more. The results showed that the greater the depth, the greater the relationship between the magnitude (MI) and the offset shift (lg DP) is. Such studies are needed to identify the effect of seismicity on the change of other environmental parameters, in particular, temperature, characteristics of earthquake foci, which will allow building an existing model of seismicity of the Transcarpathian region.

Keywords: regression analysis, seismicity of Transcarpathian region, deformation, geoacoustic emission.

Н. Хомяк, канд. физ.-мат. наук, доц.,
E-mail: KhomNick98@gmail.com;
Геологический факультет, Львовский национальный университет им. И. Франко,
ул. Грушевского, 4, г. Львов, 79005, Украина;
Д. Малицкий, д-р физ.-мат. наук, проф.,
E-mail: dmytro@cb-igph.lviv.ua;
А. Асташкина, канд. геол. наук, науч. сотр.,
E-mail: sac1@ukr.net;
Н. Махницкий, вед. инж.,
E-mail: caponerules@meta.ua;
С. Кравец, канд. геол. наук, науч. сотр.,
E-mail: sergiy@cb-igph.lviv.ua;
А. Мыкыта, вед. инж.;
О. Грицай, канд. геол. наук, науч. сотр.;
Карпатское отделение Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины,
ул. Научная, 3-б, г. Львов, 79060, Украина

РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЙСМИЧНОСТИ ЗАКАРПАТСКОГО РЕГИОНА

Целью данной работы является интерпретация экспериментальных данных (деформационных, геоакустических и параметров очага землетрясения) и установление их связи с сейсмичностью Закарпатского региона с использованием статистического (регрессионного) анализа. Описаны взаимосвязи геофизических параметров, а именно: деформации, геоакустической эмиссии и сейсмических характеристик – магнитуды и энергетического класса. Для построения статистической (регрессионной) модели, использованы геоакустические и деформационные данные за период 2014 г., а также данные сейсмологического каталога, предоставленные отделом сейсмичности Карпатского региона (Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины). Статистическая модель сейсмичности построена для того, чтобы проанализировать различные геофизические параметры и с помощью регрессионного анализа установить их взаимосвязь между собой. Эта взаимосвязь дает возможность понять, каким образом сейсмичность влияет на изменение тех или иных параметров среды Закарпатского региона. Деформационные и геоакустические данные, используемые в работе, получены на режимной геофизической станции "Берегово" и пункте наблюдений "Яноши" (Закарпатье). Приведены основные формулы регрессионного анализа, которые используются для построения линейной статистической модели. По данным из сейсмического каталога построен график зависимости между энергетическим классом (K) и магнитудой (MD) за период 2002–2016 гг., а также построена гистограмма сейсмической активности за период 2002–2016 гг., из которой видно, что наибольшее количество событий приурочено к 2015 г. Приведены таблицы, на основе которых построены графики зависимости сейсмичности от деформаций и геоакустики. Показана зависимость между магнитудой (MI) и подвижкой по разрыву (lg DP) для различных глубин: до 2 км; от 2 до 5 км; от 5 до 10 км и от 10 км и более. Результаты показали, что чем больше глубина, тем сильнее зависимость между MI и lg DP. Такие исследования нужны для выявления влияния сейсмичности на изменение таких параметров среды, как температура и характеристики очагов землетрясений, что позволит построить действующую модель сейсмичности Закарпатского региона.

Ключевые слова: регрессионный анализ, сейсмичность Закарпатского региона, деформации, геоакустическая эмиссия.