

УДК 519.22

## ВІДНОСНА ЧАСТОТА ПОЯВ ЗЕМЛЕТРУСІВ НА ПРОТЯЗІ 1924-2023 РОКІВ

Ірина БАЗИЛЕВИЧ, Іван КОНОТОП

Львівський національний університет імені Івана Франка,  
вул. Університетська, 1 м. Львів, 79000  
e-mail: [iryna.bazylevych@lnu.edu.ua](mailto:iryna.bazylevych@lnu.edu.ua), ORCID: 0009-0003-2430-4287  
e-mail: [konotop319@gmail.com](mailto:konotop319@gmail.com), ORCID: 0009-0007-8033-0980

У даній статті проводиться статистичний аналіз кількості появ землетрусів в цілому по планеті та в найбільш сейсмічних країнах в Індонезії, в Чилі, в Японії. Розглядається відносна частота і проводиться аналіз тенденції поведінки на протязі 100 років.

*Ключові слова:* вибірка, нормальний розподіл, лінія тренду, регресійні залишки

Розглядаємо статистичні дані — кількість землетрусів за період 1924–2023 роки в цілому по планеті, а також окремо в Індонезії, Чилі, Японії. Загальновідомо, що кількість землетрусів у світі зростає. Ми спробували проаналізувати, чи частка їх появи по країнах стала чи вона змінюється. Для цього знаходили відношення кількості землетрусів в кожній із країн до кількості землетрусів у світі за рік протягом 1924-2023 років. Дані ми брали на [3]. Обчислення проводились у мові R ([2]).

Спочатку ми проаналізуємо кількість появ землетрусів на планеті з 1924 року по 2023 рік.

Завантажуємо дані.

```
79 105 123 111 119 125 97 123 92 101 117 111 105 98 149 80
105 100 99 113 82 87 94 83 114 83 123 134 166 128 109 128
108 175 119 104 136 104 98 129 144 129 99 104 145 141 145 140
128 99 98 114 115 86 93 94 96 86 90 139 138 162 138 173
126 139 154 137 179 148 159 202 164 136 121 135 160 137 139 154
157 150 153 196 179 160 174 207 133 142 155 146 147 111 134 145
121 157 127 147
```

Зобразимо їх як часовий ряд (рис. 1)

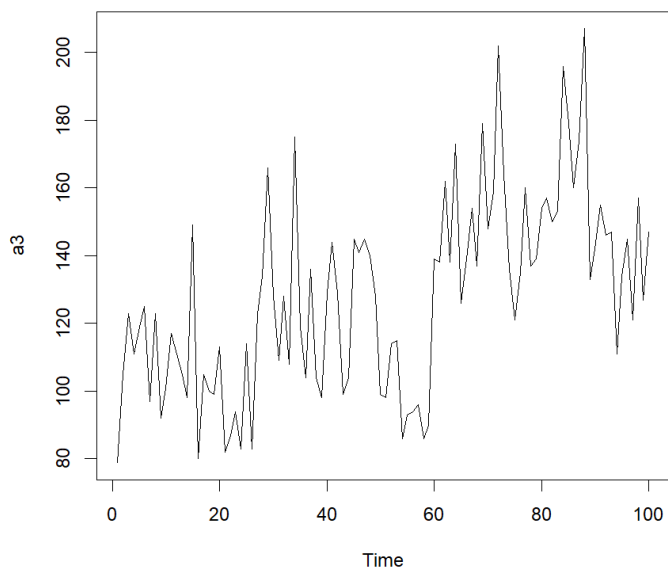


Рис. 1.

Графічне зображення показує, що кількість землетрусів зростає, але при цьому існує циклічність. Відомо, що кількість землетрусів пов'язана з діяльністю Сонця, а саме з числами Вольфа. Приблизно цикл триває 11 років, але це не завжди. Для того, щоб можна використовувати модель з сезонністю, ми будемо вважати що у нас цикл триває 11 років, хоча це не зовсім так.

Розкладемо наш часовий ряд на компоненти тренд, сезонну складову і випадкову складову [1](рис. 2)

Подивимось як себе поводить тренд. Спочатку ми будемо шукати рівняння лінійної регресії у мові *R*, поклавши час від 1 до 100, а так як в мові *R* при знаходженні тренду пропадають значення перших 5 і останніх 5 значень, то ми маємо тренд для 90 значень. Якщо коефіцієнт при часовій змінній додатний, то тренд зростає і відповідно відносна частота зростає і навпаки, якщо коефіцієнт від'ємний, то тренд спадає і відповідно відносна частота спадає. Для цього ми скористаємося мовою програмування *R*, а саме, використаємо операцію *lm*, яка знаходить рівняння лінійної регресії, а також деякі функції пов'язані з нею.

Ми отримали рівняння  $y = 0.66075 \cdot t + 98.36818$  з коефіцієнтом детермінації 0.7004. Отже, ми маємо зростання. *p*-value для *F*-статистика менший, ніж 0.05, що свідчить про те, що коефіцієнти значущі.

Знайдемо коефіцієнт кореляції з часовою змінною. Часова змінна у даному випадку це 1, 2, ..., 100. Він дорівнює 0.3853712.

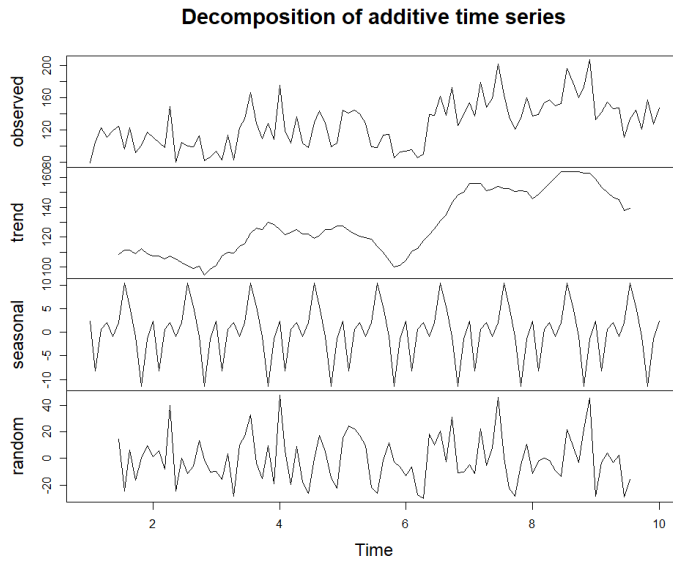


Рис. 2.

Додатний коефіцієнт кореляції свідчить про те, що кількість землетрусів зростає.

Додатність коефіцієнта кореляції свідчить про те, що відносна частота зростає.

Перевіримо чи випадкова складова має нормальний розподіл. Перевірку здійснюватимемо за допомогою критерію Колмогорова в мові програмування R. Дані по випадковій компоненті позначатимемо аб

Статистика критерію дорівнює  $D = 0.060613$ ,  $p\text{-value} = 0.8754$ .

Так як  $p\text{-value}$  більше від 0.05, то ми не відхиляємо гіпотезу про те, що випадкова складова кількості землетрусів по планеті є нормально розподілена.

Отже, ми зробили первісний аналіз поведінки кількості землетрусів по планеті. Розглянемо кількість землетрусів в Індонезії.

6 14 19 9 8 9 7 15 11 4 10 14 19 8 13 5 9 12 7 10 11  
 6 7 7 8 10 11 9 8 9 8 9 2 16 5 12 11 5 5 17 15 10  
 7 12 19 25 5 13 17 6 11 13 12 17 7 18 6 4 6 23 16 25 21  
 20 8 19 15 15 24 15 28 26 23 10 21 11 23 20 20 16 25 34 27 38  
 27 34 23 18 18 12 11 13 16 8 17 20 20 18 14 23

Обчислюємо відношення кількості землетрусів в Індонезії до загальної кількості землетрусів

0.07594937 0.13333333 0.15447154 0.08108108 0.06722689 0.07200000 0.07216495  
 0.12195122 0.11956522 0.03960396 0.08547009 0.12612613 0.18095238 0.08163265  
 0.08724832 0.06250000 0.08571429 0.12000000 0.07070707 0.08849558 0.13414634  
 0.06896552 0.07446809 0.08433735 0.07017544 0.12048193 0.08943089 0.06716418  
 0.04819277 0.07031250 0.07339450 0.07031250 0.01851852 0.09142857 0.04201681

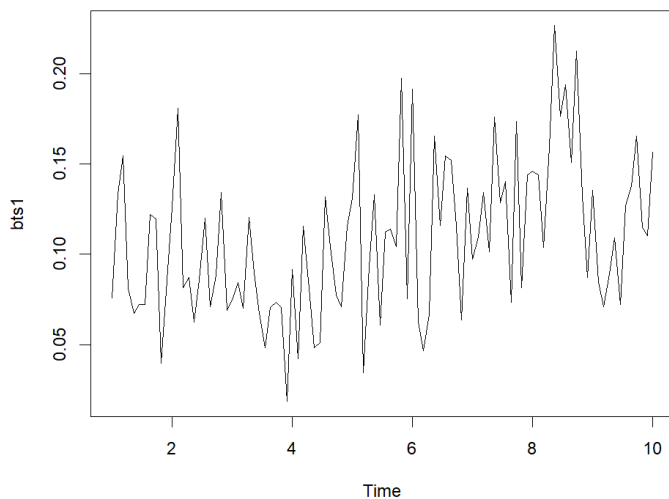


Рис. 3.

0.11538462 0.08088235 0.04807692 0.05102041 0.13178295 0.10416667 0.07751938  
 0.07070707 0.11538462 0.13103448 0.17730496 0.03448276 0.09285714 0.13281250  
 0.06060606 0.11224490 0.11403509 0.10434783 0.19767442 0.07526882 0.19148936  
 0.06250000 0.04651163 0.06666667 0.16546763 0.11594203 0.15432099 0.15217391  
 0.11560694 0.06349206 0.13669065 0.09740260 0.10948905 0.13407821 0.10135135  
 0.17610063 0.12871287 0.14024390 0.07352941 0.17355372 0.08148148 0.14375000  
 0.14598540 0.14388489 0.10389610 0.15923567 0.22666667 0.17647059 0.19387755  
 0.15083799 0.21250000 0.13218391 0.08695652 0.13533835 0.08450704 0.07096774  
 0.08904110 0.10884354 0.07207207 0.12686567 0.13793103 0.16528926 0.11464968  
 0.11023622 0.15646259

Подаємо наші дані як часовий ряд і подивимось на їх графічне зображення (рис. 3)

Як видно з рис. 3 є підстави припускати про те, що частка землетрусів в Індонезії зростає.

Отже, наша основна гіпотеза полягає в тому, що частка землетрусів в Індонезії зростає.

Знов розкладаємо наш часовий ряд на складові: тренд, сезонну складову і випадкову складову і зобразимо графічно (рис. 4).

Як видно з рисунку, то тренд є зростаючий

Покажемо це з допомогою регресійного аналізу. Рівняння лінійної регресії  $y = 6.734 \cdot 10^{-4} \cdot t + 7.696 \cdot 10^{-2}$ . Здається, що коефіцієнт дуже малий і його варто вважати 0, але дані наші, взагалі кажучи, не дуже великі і  $p$ -value для  $F$ -statistic дорівнює

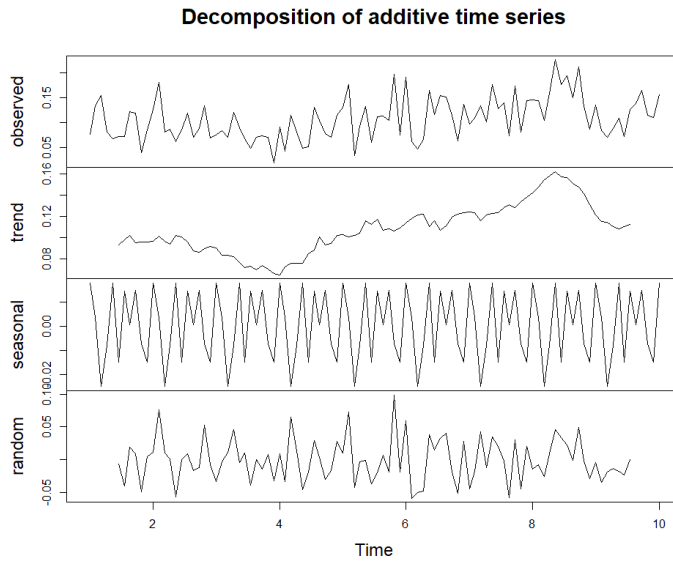


Рис. 4.

2.2e-16, а останнє говорить про те, що коефіцієнт регресії не дорівнюють нулю. Коефіцієнт детермінації дорівнює 0.5625.

Знайдемо коефіцієнт кореляції з часовою змінною. Часова змінна у даному випадку це 1, 2, ..., 100. Він дорівнює 0.3853712. Додатність коефіцієнта кореляції свідчить про те, що відносна частота зростає.

Перевіримо гіпотезу про те, що коефіцієнт кореляції дорівнює нулю. Для цього використаємо кореляційний тест. Перевірку здійснюватимемо у мові програмування R. Статистика критерію  $t = 4.1343$ ,  $p\text{-value} = 7.516e-05$ . І так як  $p\text{-value} = 7.516e-05$ , тобто менше 0.05, то гіпотезу ми відхиляємо.

А тепер перевіримо чи випадкова компонента має нормальний розподіл.

Перевірку здійснюватимемо критерієм Колмогорова з допомогою мови програмування R.

Статистика критерію дорівнює  $D = 0.063196$ ,  $p\text{-value} = 0.8424$

Оскільки  $p\text{-value} = 0.8424$ , то це свідчить, що випадкова складова задовільняє нормальному розподілу.

Отже, частка землетрусів у Індонезії зростає.

Розглянемо тепер дані по Чілі.

```
5 2 4 13 1 5 5 4 2 3 3 5 5 3 3 10 1 5 11 4 6
3 5 5 5 3 5 5 2 7 6 5 6 6 33 8 9 16 4 7 7 10
5 8 15 8 7 6 7 7 5 5 2 3 3 5 8 9 6 24 4 17 16
5 6 8 5 10 10 11 10 16 11 8 5 12 8 5 5 12 11 20 8 7
36 14 12 7 16 29 12 6 6 13 13 7 10 8
```

Зобразимо графічно (рис. 5).

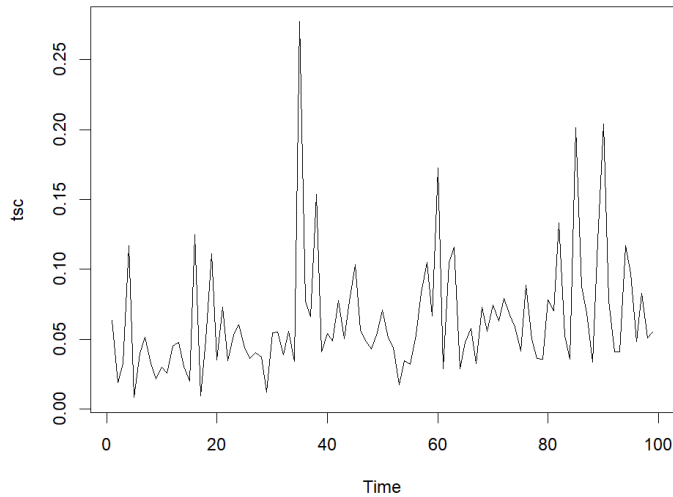


Рис. 5.

Як видно з малюнку 5 різниця між Індонезією і Чілі: в Індонезії немає таких “піків”.

Знайдемо відношення кількості землетрусів у Чілі до кількості всіх землетрусів у світі.

```
0.063291139 0.019047619 0.032520325 0.117117117 0.008403361 0.040000000 0.051546392
0.032520325 0.021739130 0.029702970 0.025641026 0.045045045 0.047619048 0.030612245
0.020134228 0.125000000 0.009523810 0.050000000 0.111111111 0.035398230 0.073170732
0.034482759 0.053191489 0.060240964 0.043859649 0.036144578 0.040650407 0.037313433
0.012048193 0.054687500 0.055045872 0.039062500 0.055555556 0.034285714 0.277310924
0.076923077 0.066176471 0.153846154 0.040816327 0.054263566 0.048611111 0.077519380
0.050505051 0.076923077 0.103448276 0.056737589 0.048275862 0.042857143 0.054687500
0.070707071 0.051020408 0.043859649 0.017391304 0.034883721 0.032258065 0.053191489
0.083333333 0.104651163 0.066666667 0.172661871 0.028985507 0.104938272 0.115942029
0.028901734 0.047619048 0.057553957 0.032467532 0.072992701 0.055865922 0.074324324
0.062893082 0.079207921 0.067073171 0.058823529 0.041322314 0.088888889 0.050000000
0.036496350 0.035971223 0.077922078 0.070063694 0.133333333 0.052287582 0.035714286
0.201117318 0.087500000 0.068965517 0.033816425 0.120300752 0.204225352 0.077419355
0.041095890 0.040816327 0.117117117 0.097014925 0.048275862 0.082644628 0.050955414
0.055118110
```

Перейдемо до моделі часових рядів з сезонністю.

Розкладемо часовий ряд на складові (рис. 6).

Як видно з рисунку, тренд зростає.

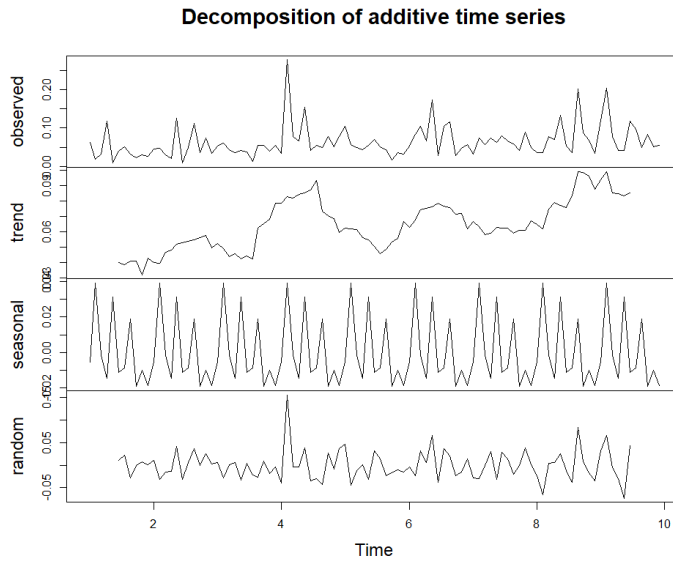


Рис. 6.

Знову застосуємо регресійний аналіз для тренду. Для цього використаємо команду `lm`. Рівняння лінійної регресії  $y = 4.318 \cdot 10^{-4} \cdot t + 4.535 \cdot -02$ . Коефіцієнт детермінації дорівнює 0.4731.  $F$ -statistic дорівнює 78.12 Так як  $p$ -value для  $F$ -statistic дорівнює  $9.626e-14$ , то коефіцієнт біля часової змінної не дорівнює 0.

І хоч тренд не дуже близький до прямої, але отримані результати підтверджують той факт, що тренд зростає, а це говорить про те, що відносна частота кількості землетрусів в Чілі зростає.

Також знайдемо коефіцієнт кореляції між відносною частотою появи землетрусів і часовою змінною. Він дорівнює 0.2572733, а значить відносна частота появи землетрусів зростає.

Перевіримо гіпотезу про те, що коефіцієнт кореляції дорівнює 0. Застосуємо кореляційний тест. Обчислення проводимо в мові програмування `R`.

Статистика критерію дорівнює  $t = 2.6221$ ,  $p$ -value = 0.01015.

Так як  $p$ -value = 0.01015 < 0.05, то гіпотезу відхиляємо.

І, нарешті, переконаємось в тому, що випадкова складова нормально розподілена. Для цього знову використаємо критерій Колмогорова і обчислення будемо проводити в мові програмування `R`.

Статистика критерію  $D = 0.092886$ ,  $p$ -value = 0.4018

В силу того,  $p$ -value більше 0.05, то гіпотезу про те, що випадкова складова нормально розподілена, ми не відхиляємо.

Переходимо до Японії. Дані по кількості землетрусів в Японії протягом 1924-2023 рр.

14 8 14 10 7 4 11 5 16 4 9 7 13 39 8 9 11 8 14 9 10

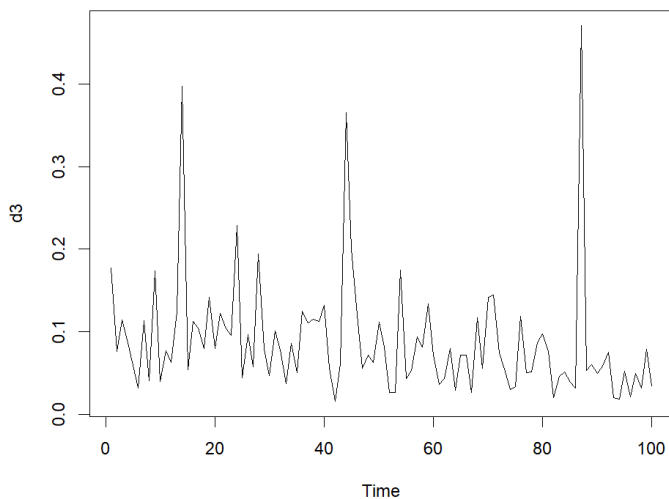


Рис. 7.

9 9 19 5 8 7 26 13 6 11 10 4 15 6 13 15 12 11 17 8 2  
 6 38 29 17 8 10 8 11 8 3 3 15 4 5 9 7 12 10 5 7 11  
 5 9 10 4 16 10 21 23 15 9 4 4 16 8 7 12 15 12 3 7 10  
 7 5 82 11 8 7 9 11 3 2 7 3 6 5 10 5

Подамо як часовий ряд і представимо графічно (рис. 7). Далі знайдемо відношення кількості землетрусів у Японії до кількості всіх землетрусів по планеті.

0.17721519 0.07619048 0.11382114 0.09009009 0.05882353 0.03200000 0.11340206  
 0.04065041 0.17391304 0.03960396 0.07692308 0.06306306 0.12380952 0.39795918  
 0.05369128 0.11250000 0.10476190 0.08000000 0.14141414 0.07964602 0.12195122  
 0.10344828 0.09574468 0.22891566 0.04385965 0.09638554 0.05691057 0.19402985  
 0.07831325 0.04687500 0.10091743 0.07812500 0.03703704 0.08571429 0.05042017  
 0.12500000 0.11029412 0.11538462 0.11224490 0.13178295 0.05555556 0.01550388  
 0.06060606 0.36538462 0.20000000 0.12056738 0.05517241 0.07142857 0.06250000  
 0.11111111 0.08163265 0.02631579 0.02608696 0.17441860 0.04301075 0.05319149  
 0.09375000 0.08139535 0.13333333 0.07194245 0.03623188 0.04320988 0.07971014  
 0.02890173 0.07142857 0.07194245 0.02597403 0.11678832 0.05586592 0.14189189  
 0.14465409 0.07425743 0.05487805 0.02941176 0.03305785 0.11851852 0.05000000  
 0.05109489 0.08633094 0.09740260 0.07643312 0.02000000 0.04575163 0.05102041  
 0.03910615 0.03125000 0.47126437 0.05314010 0.06015038 0.04929577 0.05806452  
 0.07534247 0.02040816 0.01801802 0.05223881 0.02068966 0.04958678 0.03184713  
 0.07874016 0.03401361

Подамо дані як часовий ряд і подивимось які тенденції спостерігатимуться (рис. 8).

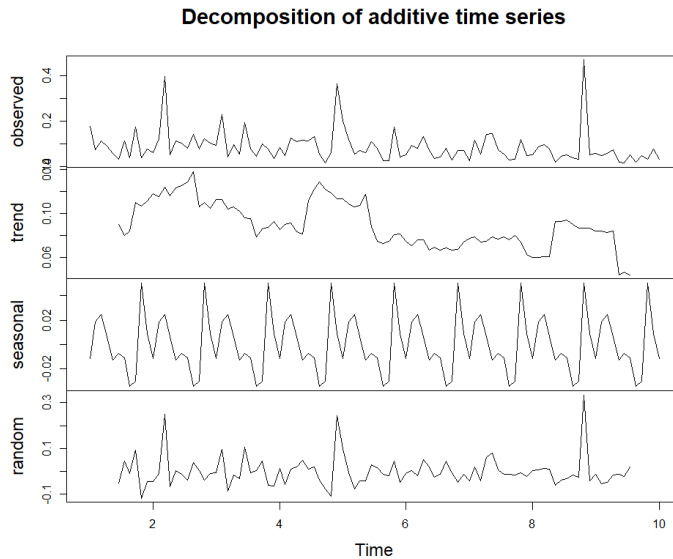


Рис. 8.

Проводимо статистичний аналіз даних аналогічно як і у випадку дослідження даних по Індонезії і Чілі.

Розкладаємо часовий ряд на складові.

Насамперед досліджуємо тренд, будуючи для нього рівняння лінійної регресії. Рівняння лінійної регресії  $y = 0.1143780 - 0.0005359 \cdot t$ .

Коефіцієнт детермінації дорівнює 0.4528.  $F$ -statistic дорівнює 72.81,  $p$ -value дорівнює  $3.75e-13$ .

І як свідчать результати, частка землетрусів в Японії спадає, хоч дуже повільно.

Знайдемо коефіцієнт кореляції між відносною частотою появи землетрусів у Японії і часовою змінною. Він дорівнює -0.2233581.

Так як він від'ємний, то це говорить про те, що відносна частота спадає.

Перевіримо гіпотезу про те, що коефіцієнт кореляції дорівнює нулю.

Для цього застосуємо кореляційний тест і обчислення проводимо в мові програмування  $R$ .

Статистика критерію  $t = -2.2684$ ,  $p$ -value = 0.0255.

І знову гіпотезу про те, що коефіцієнт кореляції дорівнює 0 відхиляємо.

Перевіряємо гіпотезу, що випадкова компонента має нормальний розподіл. Перевірку здійснюватимемо критерієм Колмогорова у мові програмування  $R$ .

Статистика критерію  $D = 0.18999$ ,  $p$ -value = 0.002558.

Негативний результат. Спробуємо зрозуміти чому.

Як видно з даних є три піки. Спробуємо їх позбутись. По нових даних проводимо перевірку гіпотези на нормальність.

Статистика по оновлених даних дорівнює  $D = 0.097027$ ,  $p$ -value = 0.3625.

Отже, при відкиненні трьох точок, гіпотезу про нормальний розподіл випадкової складової ми не відхиляємо.

Отже, ми проаналізували частку землетрусів у трьох країнах по відношення до кількості землетрусів у цілому по планеті. Висновок такий: частка землетрусів в Індонезії і Чілі зростає, у Японії спадає.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. A.T. Yarovyy, Ye.M. Strahov, Time series analysis. Odessa, 2019, 109 p.
2. M.D. Ugarte, A.F. Militino, A.T. Arnholt, Probability and statistics with *R*, Boca Raton, London, New York: CRC Press, 2008, 700 p.
3. USGS Scientific Research Results – [Електронний ресурс] – usgs.gov – Режим доступу: <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/earthquakes>

*Стаття: вперше надійшла 12.08.2026  
прийнята до друку 15.04.2026  
опублікована 29.04.2026*

## RELATIVE FREQUENCY OF EARTHQUAKES DURING 1924-2023

**Iryna BAZYLEVYCH, Ivan KONOTOP**

*Ivan Franko Lviv National University,  
Universytetska str., 1, L'viv, 79000  
e-mail: iryna.bazylevych@lnu.edu.ua, ORCID: 0009-0003-2430-4287  
konotop319@gmail.com, ORCID: 0009-0007-8033-0980*

This article provides a statistical analysis of the number of earthquakes occurring across the planet and in the most seismic countries in Indonesia, Chile, and Japan. The relative frequency is considered and the trend of behavior over 100 years is analyzed.

*Key words:* sample, normal distribution, trend line, regression residuals