

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ
PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF ARMENIA

ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ ԵՐԿՐԻ ՄԱՍԻՆ
НАУКИ О ЗЕМЛЕ
EARTH SCIENCES

3/2024

ԵՐԵՎԱՆ. ЕРЕВАН. YEREVAN
2024

Հանդեսը հիմնադրվել է 1948 թվականին, լույս է տեսնում տարին երեք անգամ
հայերեն, ռուսերեն և անգլերեն լեզուներով

Գլխավոր խմբագիր՝
ՄԵԼՔՈՆՅԱՆ Ռ.Լ.

Խմբագրական կոլեգիա՝
ԱՂԻՆՅԱՆ Ա.Հ., ԱՎԱԳՅԱՆ Ա.Վ. (գլխ. խմբ. տեղակալ), ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ Ա.Ա.,
ԲԱԴԴԱՍԱՐՅԱՆ Հ.Ռ., ԳԱԲՐԻԵԼՅԱՆՑ Գ.Ա., ԳԱԼՈՅԱՆ Դ.Լ., ԳՅՈՒԼՆԱԶԱՐՅԱՆ Շ.Ա.,
ԴԱՆԵԼԻԱՆ Տ. (Ֆրանսիա), ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ Լ.Զ., ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ Ս.Ս.,
ԽԱԶԻՅԱՆ Է.Ե., ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ Զ.Կ., ՄԵԼԻՔՏԵՅԱՆ Խ.Բ., ՄՈՎՍԵՅԱՆ Ռ.Ս.
(պատասխանատու քարտուղար), ՆԱԶԱՐԵՏՅԱՆ Ս.Ն., ԶՐԲԱՇՅԱՆ Ռ.Տ.,
ՓԱԼԱՆԺՅԱՆ Ս.Ա. (Ռուսաստան)

Главный редактор
МЕЛКОНЯН Р.Л.

Редакционная коллегия
АВАКЯН А.В. (зам. глав. ред.), АГИНЯН А.О., АРАКЕЛЯН А.А., БАГДАСАРЯН А.Р.,
ГАБРИЭЛЯНЦ Г.А., ГАЛОЯН К.Л., ГЮЛНАЗАРЯН Ш.А., ДАНЕЛИАН Т. (Франция),
ДЖРБАШЯН Р.Т., КАРАПЕТЯН Дж.К., МЕЛИКСЕТЯН Х.Б., МОВСЕСЯН Р.С. (ответ.
секретарь), НАЗАРЕТЯН С.Н., ОГАНЕСЯН Л.З., ОГАНЕСЯН С.М.,
ПАЛАНДЖЯН С.А. (Россия), ХАЧИЯН Э.Е.

Editor in Chief
MELKONYAN R.L.

Editorial Board
AGHINYAN A.H., AVAGYAN A.V. (Deputy Editor in Chief), ARAKELYAN A.A.,
BAGHDASARYAN H.R., DANELIAN T. (France), GABRIELYANTS G.A., GALOYAN G.L.,
GULNAZARYAN SH.A., HOVHANNISYAN L.Z., HOVHANNISYAN S.M., JRBASHYAN R.T.,
KARAPETYAN Dj.K., KHACHIYAN E.Y., MELIKSETYAN KH.B., MOVSESYAN R.S.
(Executive Secretary), NAZARETYAN S.N., PALANJYAN S.A. (Russia)

Խմբագրության հասցեն՝ 0019, Երևան-19, Մարշալ Բաղրամյան պող. 24ա
Адрес редакции: 0019, Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24а
Editorial address: 24a, Marshal Baghramyan ave., Yerevan, 0019, Republic of Armenia
E-mail: geoscience @ geology.am
© Издательство “Гитутюн” НАН РА
Типография НАН РА
Известия НАН РА, Науки о Земле, 2024

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԱԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆ

Ղազարյան Հայկ. Երկրաշարժի հրահրման մեխանիզմների ուսումնասիրություն. պատկերացումներ 2023 թվականի Քահրամանմարաշի երկրաշարժից	5
Ղազարյան Արմեն, Մինասյան Գայանե, Տեր-Վարդանյան Լիլիթ, Մկրտչյան Ասատուր. Երկրաշարժերի համար SOC մոդելի հավելվածի սահմանափակումների մասին	15

ԷԿՈԼՈԳԻԱ

Հովհաննիսյան Սպարտակ, Մովսիսյան Նոնա, Գևորգյան Աննա, Բելյանա Օլգա. Կոտայքի մարզի հողերում բնական և տեխնածին ռադիոնուկլիդների տարածաբաշխման առանձնահատկությունները	25
Այվազյան Գրիգոր, Խղաթյան Անահիտ, Մուրադյան Վահագն, Ասմարյան Շուշանիկ. Օդատիեզերական հեռազննման կիրառումը ՀՀ որոշ գյուղատնտեսական հողահանդակների էկոլոգիական վիճակի և տարածաժամանակային փոփոխությունների գնահատման գործում	38

ՊԱՏՄՈՒԹՅՈՒՆ

Գրիգորյան Գ.Ռ., Բաղայան Մ.Բ., Խումիզուրի Գ.Պ., Պողոսյան Ն.Յ., Խաչատրյան Ա.Ա. Լեռնիդ Աֆանասիելիչ Սպենդիարովի ծննդյան 155-ամյակ	57
--	----

ՀԻՇԱՐԱՆ ՏԱՐԵԹՎԵՐ

ՋՐԲԱՇՅԱՆ ՌՈՒԲԵՆ ՏԻԳՐԱՆԻ (ծննդյան 90-ամյակին)	71
ՄԵԼՔՈՆՅԱՆ ՌԱՖԻԿ ԼԵՎՈՆԻ (ծննդյան 90-ամյակին)	74

СОДЕРЖАНИЕ

СЕЙСМОЛОГИЯ

Казарян Айк. Изучение механизмов возникновения землетрясений: выводы из землетрясения в Кахраманмараше 2023 года	5
Казарян Армен, Минасян Гаяне, Тер-Варданян Лилит, Мкртчян Асатур. Об ограничениях применения модели SOC для землетрясений	15

ЭКОЛОГИЯ

Оганесян Спартак, Мовсисян Нона, Геворкян Анна, Беляева Ольга. Особенности распределения естественных и техногенных радионукли- дов в почвах Котайской области	25
Айвазян Григор, Хлгатын Анаит, Мурадян Ваагн, Асмарян Шушаник. Применение дистанционного зондирования для оценки пространствен- но-временных изменений экологического состояния некоторых сельско- хозяйственных земельных угодий РА	38

ИСТОРИЯ

Григорян Г.Р., Бадалян М.Б., Хомизури Г.П., Погосян Н.Ю., Хачатрян А.А. 155 лет со дня рождения Леонида Афанасьевича Спендиарова	57
---	----

ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

ДЖРБАШЯН РУБЕН ТИГРАНОВИЧ (к 90-летию со дня рождения)	71
МЕЛКОНЯН РАФИК ЛЕВОНОВИЧ (к 90-летию со дня рождения)	74

TABLE OF CONTENT

SEISMOLOGY

Kazarian Aik. Exploring Earthquake Triggering Mechanisms: Insights from the 2023 Kahramanmaraş Earthquake	5
Kazarian Armen, Minasyan Gayane, Ter-Vardanyan Lilit, Mkrtchyan Asatur. About the Limitations of the SOC model application for earthquakes ...	15

ECOLOGY

Hovhannisyan Spartak, Movsisyan Nona, Gevorgyan Anna, Belyaeva Olga. Characteristics of distribution of natural and artificial radionuclides in soils of kotayk region	25
Ayvazyan Grigor, Khlghatyan Anahit, Muradyan Vahagn, Asmaryan Shushanik. Application of remote sensing for assessing spatial and temporal changes of the ecological state of some agricultural lands in RA	38

HISTORY

Grigoryan G.R., Badalyan M.B., Khumizuri G.P., Poghosyan N. J., Khachat- ryan A.A. 155 years since the birth of Leonid Afanasievich Spendiarov	57
---	----

MEMORABLE DATES

JRBASHYAN RUBEN TIGRAN (90 th birthday)	71
RAFIK LEVON MELKONYAN (90 th birthday)	74

SEISMOLOGY

DOI: 10.54503/0515-961X-2024.77.3-5

**EXPLORING EARTHQUAKE TRIGGERING MECHANISMS:
INSIGHTS FROM THE 2023 KAHRAMANMARAS
EARTHQUAKE**

Kazarian Aik

*Institute of Geological Sciences, National Academy of Sciences of Armenia
375019, 24a, ave. M. Baghramyan, Yerevan, Armenia
e-mail: aik.kazarian@edu.isec.am
Received by the Editor 30.10.2024*

Abstract

This article investigates earthquake triggering mechanisms, drawing on established seismological theories and using the 2023 Kahramanmaraş earthquake as a case study. The discussion looks at fault stress accumulation, self-organized criticality (SOC) theory, and tidal forces as potential triggers. Finally, it raises questions about the role of lunar and solar interactions in seismic activity, indicating potential areas for future research.

Key words: earthquake triggering, stress accumulation, SOC theory, earthquake generation, fault system failure.

Introduction to Earthquake Triggering Concepts

Understanding how earthquakes are triggered is important in seismology because it involves determining which factors can cause a fault to rupture. A "trigger" in this context is usually an external or internal stimulus that causes an earthquake when fault stress reaches a near-critical level. Although tectonic shifts are the primary cause of stress accumulation (Freed, 2005), other factors such as hydrological changes (Jia et al., 2023), aftershock and foreshock sequences (Guglielmi & Zotov, 2024), and tidal forces (Li & Chen, 2024a) have been investigated for possible triggering effects.

These factors are part of the ongoing debate in seismology about which conditions may prime faults for failure. This article discusses current ideas on

stress accumulation and SOC theory, followed by an analysis of tidal forces using the 2023 Kahramanmaraş earthquake as a case study. The goal is to determine which influences have a greater impact on fault systems, with the hope of encouraging further research into this topic.

Theories of Stress Accumulation and Self-Organized Criticality (SOC)

The gradual movement of tectonic plates is thought to cause stress accumulation, straining faults until they reach a critical point, at which point a rupture releases stored energy in the form of an earthquake. Ruptures happen when stress surpasses the frictional resistance along a fault plane, and this strain builds up over years, decades, or even centuries (*What Is an Earthquake and What Causes Them to Happen?* | U.S. Geological Survey, n.d.).

According to the theory of SOC, fault systems eventually reach a "critical state" where even slight variations in stress, like those caused by local seismicity or tides, have the capacity to set off more significant events (Caruso et al., 2007). According to SOC, fault systems balance close to a critical point, where the magnitude of stress perturbations and dissipations makes both large and small earthquakes equally likely (Marsan, 2005). Seismic events exhibit complex behavior rather than always following a predictable pattern, which is explained by the SOC model. It makes the assumption that the phenomenon evolved after it started. Similar to an avalanche, which can begin with a single clap and is independent of the clap's intensity. It depends on factors such as snow accumulation, slope angle, and weather conditions. The magnitude of the avalanche will increase once it begins, a phenomenon known as self-organization.

The unpredictability of SOC systems arises from the numerous variables that influence how stress propagates and dissipates within a fault system. Factors such as heterogeneities in rock composition, fault geometry, and pre-existing microfractures contribute to the chaotic redistribution of stress. Additionally, SOC systems are characterized by critical sensitivity to initial conditions: small, imperceptible changes can cascade into large-scale events, making precise forecasting nearly impossible. The stochastic nature of these interactions ensures that while the overall statistical behavior of seismicity may follow power-law distributions, individual earthquake occurrences remain fundamentally uncertain. This unpredictability underscores the inherent challenge of accurately forecasting seismic events within the SOC framework. The magnitude of an event is dependent on numerous unknowns and thus is considered unpredictable (Bak & Chen, 1991).

Here, we consider the concept of triggering as the proverbial clapping and its role in determining the characteristics of seismic events. Let's examine it on the instance of the 2023 Kahramanmaraş dual earthquake.

Case Study: The 2023 Kahramanmaraş Earthquake and Tidal Triggering

In February 2023, the Kahramanmaraş region in Turkey experienced a significant seismic event in the form of a doublet earthquake—two major earthquakes occurring in close temporal and spatial proximity.

The unusual proximity of the two separate shocks on two separate adjacent faults raises the question of whether they are separate events or simply a main shock-aftershock sequence of abnormal magnitude. Fig.1 shows the positioning of the sequence with aftershock activity along the faults. Other good examples of doublet earthquakes are the Ridgecrest event in Nevada (fig.2 and 3), and the Landers event in 1992 (fig.4).

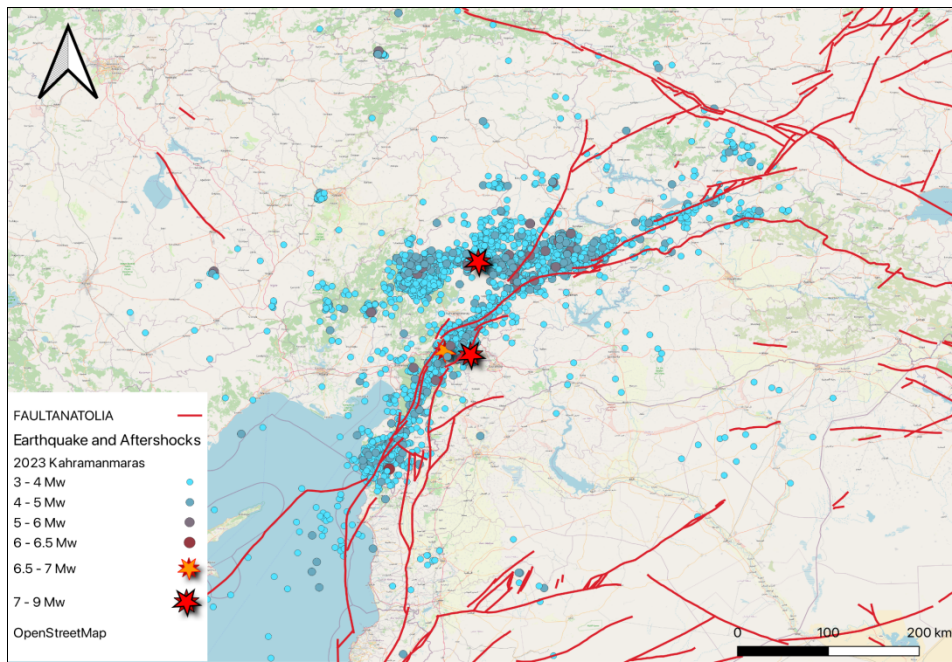


Fig.1. The spatial distribution of main shocks and aftershocks of the Kahramanmaraş earthquake doublet. Using USGS catalog, compiled with QGIS (revision, 2024).

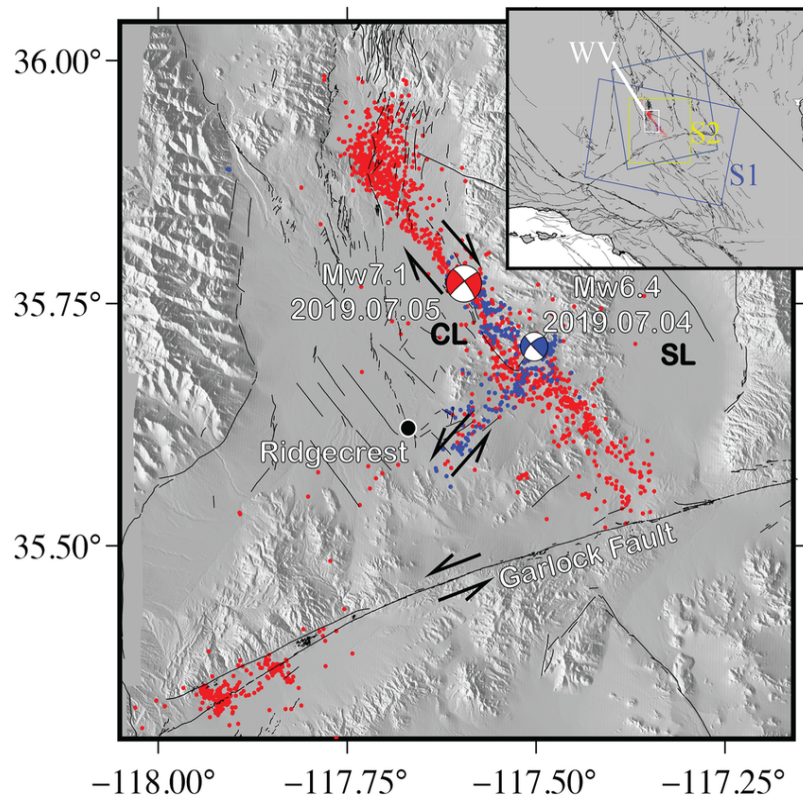


Fig.2. A map of the Ridgecrest doublet with their associated aftershocks. Colors indicate aftershocks thought to be connected with the mainshock of the same color. Each main shock has a similar moment tensor, but different focal mechanism. (Barnhart et al., 2019).

Graphic Time Series of the 2019 Ridgecrest Earthquakes as a Function of Time

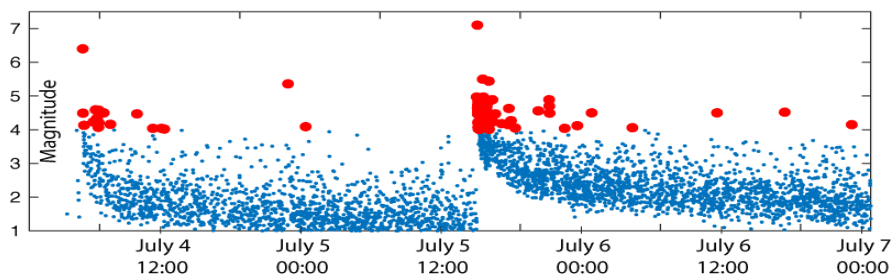


Fig.3. Time series of the Ridgecrest doublet of 2019. Red circles indicate strong shocks $M_w=4+$ and blue circles indicate weak earthquakes and weak aftershocks $M_w=4$ (Graph of 2019 Ridgecrest Earthquakes as a Function of Time | U.S. Geological Survey, n.d.). This graph shows anomalous earthquakes that appear to fall outside of the expected curve described by Omori's Law. Prompting the question of whether or not these can and should be considered triggered earthquakes or aftershock activity.

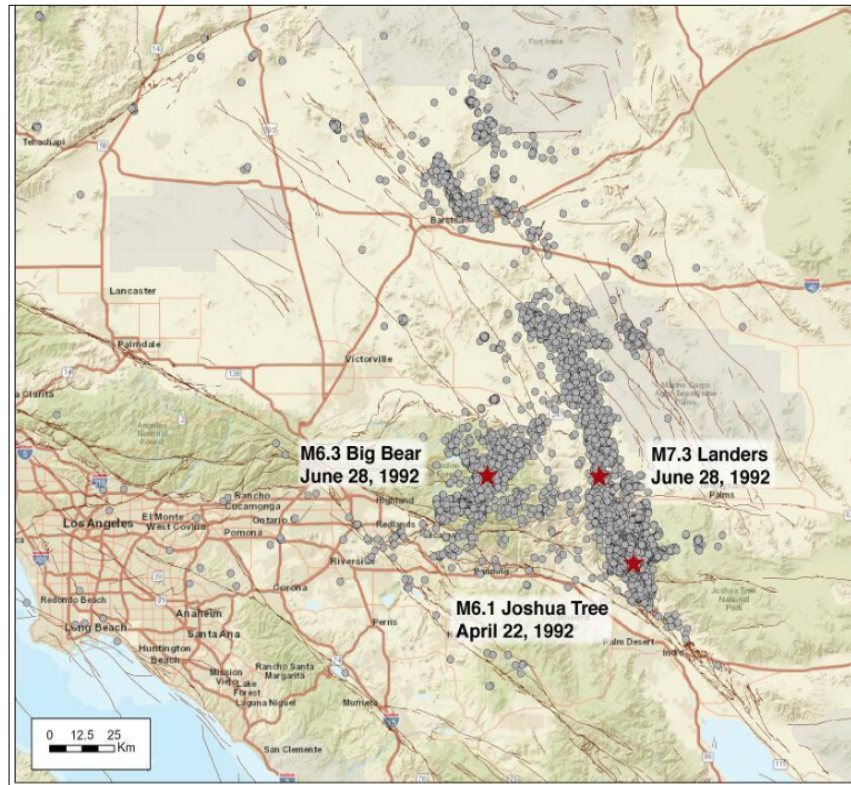


Fig.4. Landers $M = 7.3$ – Big Bear $M=6.3$ doubled event in California 1992 (Hauksson et al., 1993)

These sequences prompt the question of whether the second earthquake qualifies as an aftershock or if it should be considered a separate main event. While aftershocks are typically triggered by the stress redistribution from an initial main shock, doublets often blur these distinctions, challenging traditional classifications.

According to Omori's law, which describes the temporal decay of aftershock frequency following a main shock, aftershocks are expected to follow a predictable decline over time (Žalohar, 2018). However, in the Kahramanmaraş case and the Ridgecrest case, the large magnitude of the second event suggests it may not fit the usual aftershock decay pattern, indicating it could be another primary rupture triggered by or independent of the first. This situation underscores that while aftershocks are generally seen as triggered events, classified by the main shock as the initiating factor, doublets require a nuanced analysis to determine their specific triggering mechanisms.

The timing of the Kahramanmaraş doublet, coinciding with new and full moon phases, has spurred questions about tidal triggering (Ostrihansky & Ostrihanský, 2023). Tidal forces result from the gravitational pull of the moon and sun, exerting subtle but potentially impactful stress variations in the Earth's

crust. These forces are strongest during new and full moons, as the sun and moon align, creating a combined gravitational effect. For faults on the verge of rupture, this alignment may add a minor but critical stress that tips the balance toward failure (Li & Chen, 2024b).

Some researchers argue that these tidal stresses can influence seismic activity, particularly if a fault is already critically stressed and nearing rupture. In such cases, tidal forces might act as the final trigger. However, the strength of this influence remains under debate, as discussed below.

The Debate

The idea that tidal forces could trigger significant earthquakes is controversial but not new. One viewpoint holds that while tidal forces might initiate earthquakes on critically stressed faults, they lack the strength to independently induce seismic events (Varga & Grafarend, 2018). Proponents of this view argue that tidal forces alone are insufficient and require a fault to be near its failure threshold to play any role in triggering. Others find correlations between the type of fault and earthquake and tidal cycles to find potentials for causal relations (Heaton, 1975).

Alternatively, some researchers propose that tidal forces might exert a more substantial influence, particularly when combined with other stresses, such as tectonic loading or hydrological factors (Kazarian & Mkrtchyan, 2017). They suggest that high tidal forces during lunar phases could contribute meaningfully to earthquake initiation, especially if they coincide with other favorable conditions such as fault orientation, slip, and dip (Kazarian & Mkrtchyan, 2017). On the other hand, some seismologists remain skeptical, arguing that the correlation between tidal cycles and seismic events lacks statistical robustness and may be coincidental rather than causal (*Global Earthquake Forecasting System.Pdf*, n.d.).

The Kahramanmaraş doublet, with its confirmed occurrence during lunar alignments, presents a compelling case for exploring tidal influences on seismicity. Although a direct causal link remains unproven, the observed timing invites further investigation into how celestial forces interact with tectonic stress in triggering major earthquakes. This case study underscores the need for additional research to clarify the role of tidal forces and their potential interplay with other geophysical factors.

Many more questions remain unanswered or ambiguous in order to decide if an earthquake is triggered by another earthquake or not:

- Time passed between the events
- Distance between main event
- Differences in magnitude
- Orientation of activated faults relative to the Earth's surface
- Orientation of activated faults relative to the Moon's and Sun's ecliptic planes

- Differences in focal mechanisms of main and subsequent events
- Different orientational distribution of primary and secondary aftershocks

All of these questions and answers would influence the classification of each doubled event as an aftershock, triggered event, or stand-alone earthquake. The main conceptual difference between them is their level of connection to the main shock. Previously, we observed a close relationship between main and subsequent stand-alone events in the case of intraplate Ridgecrest and Landers earthquakes in Nevada and California. The Kahramanmaraş doubled event shows that this phenomenon is probably more common than previously thought.

From a different angle, the fact that this double event coincided with the full moon raises questions about whether the triggering effect was caused by a combination of various forces or by stress distribution following the initial event. Close examination of other strong earthquakes in the region should bring more answers on this matter.

Our comparable analysis shows that these 3 doubled events predominantly exhibited strike-slip faulting, where tectonic plates or crustal blocks slide past one another horizontally.

Many other instances of doublets also exist. Here is a non-comprehensive list of events that should be accounted for moving forward:

- Sumatra Earthquakes (2004 and 2005)
- New Zealand, Christchurch Earthquakes (2010 and 2011)
- El Salvador Earthquakes (2001)
- California Loma Prieta and Subsequent Events (1989)
- Papua New Guinea Earthquake Doublet (1971, 1975)
- 2010 Maule and 2014 Iquique Earthquakes (Chile)
- 2006 and 2009 Sunda Megathrust Earthquakes (Sumatra, Indonesia)
- 2009 Samoa-Tonga Earthquake Doublet (Pacific Ocean)
- 2012 Indian Ocean Earthquake Doublet.

Discussion and Conclusion

The complex interactions between variables affecting earthquake dynamics are highlighted by the 2023 Kahramanmaraş doublet. This study emphasizes the possible contributions of external triggers like tidal forces, even though tectonic stress continues to be the primary force causing seismic events. The temporal alignment of the doublet with lunar phases is intriguing, implying that tidal stresses may act as a catalyst when faults are already close to failure. However, the evidence remains inconclusive, requiring further investigation.

This case calls into question traditional seismic event classifications, such as aftershocks versus independent earthquakes, and suggests a more nuanced understanding of doublet earthquakes. Future research on the interactions between fault mechanics, tectonic loading, and external forces may help us better understand seismic triggers. Key questions—ranging from fault

orientation relative to celestial planes to differences in focal mechanisms—demand rigorous exploration.

In the end, the Kahramanmaraş sequence emphasizes how complex earthquake triggering is. A deeper understanding of how celestial forces and geophysical conditions combine to influence seismicity could enhance our predictive capabilities, shedding light on whether such phenomena are coincidence or causality. Reducing the risk of earthquakes may be greatly aided by incorporating these insights into seismic forecasting models.

References

- Bak P., & Chen K.** 1991. Self-Organized Criticality. *Scientific American*, 264(1), p. 46–53.
- Barnhart W.D., Hayes G.P., & Gold R.D.** 2019. The July 2019 Ridgecrest, California, Earthquake Sequence: Kinematics of Slip and Stressing in Cross-Fault Ruptures. *Geophysical Research Letters*, 46(21), p. 11859–11867. <https://doi.org/10.1029/2019GL084741>
- Caruso F., Pluchino A., Latora V., Rapisarda A., Vinciguerra S., Abe S., Herrmann H., Quarati P., Rapisarda, A., & Tsallis C.** 2007. Self-Organized Criticality and earthquakes. *AIP Conference Proceedings*, 965, p. 281–284. <https://doi.org/10.1063/1.2828746>
- Global Earthquake Forecasting System.pdf.** (n.d.). Retrieved November 23, 2024, from <https://foundation.scor.com/sites/default/files/202102/Global%20Earthquake%20Forecasting%20System.pdf>
- Graph of 2019 Ridgecrest Earthquakes as a Function of Time | U.S. Geological Survey.** (n.d.). Retrieved November 23, 2024, from <https://www.usgs.gov/media/images/graph-2019-ridgecrest-earthquakes-function-time>
- Hauksson E., Jones L. M., Hutton K., & Eberhart-Phillips D.** 1993. The 1992 Landers Earthquake Sequence: Seismological observations. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 98(B11), p. 19835–19858. <https://doi.org/10.1029/93JB02384>
- Heaton T. H.** 1975. Tidal Triggering of Earthquakes. *Geophysical Journal International*, 43(2), p. 307–326. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1975.tb00637.x>
- Jia Z., Jin Z., Marchandon M., Ulrich T., Gabriel A.-A., Fan W., Shearer P., Zou X., Rekoske J., Bulut F., Garagon A., & Fialko Y.** 2023. The complex dynamics of the 2023 Kahramanmaraş, Turkey, Mw 7.8-7.7 earthquake doublet. *Science (New York, N.Y.)*, 381, eadi0685. <https://doi.org/10.1126/science.adi0685>
- Li Y., & Chen L.** 2024a. Analysis of the seismicity related to the tidal stress prior to the M_w 7.8 Kahramanmaras, Türkiye earthquake. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 15(1), 2284118. <https://doi.org/10.1080/19475705.2023.2284118>
- Li Y., & Chen L.** 2024b. Analysis of the seismicity related to the tidal stress prior to the M_w 7.8 Kahramanmaras, Türkiye earthquake. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 15(1), 2284118. <https://doi.org/10.1080/19475705.2023.2284118>
- Marsan D.** 2005. The role of small earthquakes in redistributing crustal elastic stress. *Geophysical Journal International*, 163(1), p. 141–151. <https://doi.org/10.1111/j.1365->

246X.2005.02700.x

- Kazarian A. E. & Mkrtchyan M. K.** 2017. *About the periodic nature of earthquakes (case study on nord-east mediterranean)* (59–65). <https://arar.sci.am/dlibra/publication/132071/edition/119825>
- Ostrihansky L., & Ostřihanský L.** 2023. *Precursors of Pazarcik and Elbistan earthquakes 2023*. <https://doi.org/10.22541/essoar.169008293.38954966/v1>
- Revision T.** Information is preliminary and is subject to. 2024, April 5). *The 2023 Kahramanmaraş, Turkey, Earthquake Sequence*. ArcGIS StoryMaps. <https://storymaps.arcgis.com/stories/355bfc8b3c5941e683d4f258e8fb2dfa>
- Seismotectonics of the Loma Prieta region determined from three-dimensional p-wave velocities, Vp/Vs ratios, and seismicity. 2024. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/286328851_Seismotectonics_of_the_Loma_Prieta_region_determined_from_three-dimensional_p-wave_velocities_VpVs_ratios_and_seismicity
- Varga P., & Grafarend E.** 2018. Influence of Tidal Forces on the Triggering of Seismic Events. *Pure and Applied Geophysics*, 175(5), p. 1649–1657. <https://doi.org/10.1007/s00024-017-1563-5>
- What is an earthquake and what causes them to happen?* | U.S. Geological Survey. (n.d.). Retrieved November 16, 2024, from <https://www.usgs.gov/faqs/what-earthquake-and-what-causes-them-happen>
- Žalohar J.** 2018. Omori's Law. In *Developments in Structural Geology and Tectonics* (Vol. 2, p. 123–134). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814580-7.00010-1>

**ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԻ ՀՐԱՀՐՄԱՆ ՄԵԽԱՆԻԶՄՆԵՐԻ
ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ. ՊԱՏԿԵՐԱՑՈՒՄՆԵՐ 2023
ԹՎԱԿԱՆԻ ՔԱՀՐԱՄԱՆՄԱՐԱՇԻ ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԻՑ**

Ղազարյան Հայկ

Ամփոփում

Այս հոդվածը ուսումնասիրում է երկրաշարժերի առաջացման մեխանիզմները հիմնվելով հաստատված սեյսմոլոգիական տեսությունների վրա՝ որպես դեպքի ուսումնասիրություն կիրառելով 2023 թվականի Քահրամանմարաշի երկրաշարժը: Քննարկվում է հողի լարվածության կուտակումը, ինքնակազմակերպված կրիտիկականության տեսությունը (Self Organised Critically) և մակընթացային ուժերը որպես հնարավոր առաջացնող գործոններ: Վերջապես, բարձրացվում են հարցեր լուսնային և արեգակնային փոխազդեցությունների դերի մասին սեյսմիկ ակտիվության մեջ, նշելով ապագա հետազոտությունների հնարավոր ուղղությունները:

ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ: ВЫВОДЫ ИЗ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В КАХРАМАНМАРАШЕ 2023 ГОДА

Казарян Айк

Резюме

В данной статье исследуются механизмы триггеров землетрясений, опираясь на признанные сейсмологические теории, с использованием землетрясения в Кахраманмараше 2023 года в качестве примера. Обсуждаются накопление напряжения в разломах, теория самоорганизованной критичности (Self Organised Critically) и приливные силы как возможные триггеры. В заключение поднимаются вопросы о роли лунных и солнечных взаимодействий в сейсмической активности, указывая на потенциальные направления для будущих исследований.

DOI: 10.54503/0515-961X-2024.77.3-15

ABOUT THE LIMITATIONS OF THE SOC MODEL APPLICATION FOR EARTHQUAKES

**Kazarian Armen^{1,2}, Minasyan Gayane², Ter-Vardanyan Lilit³,
Mkrtchyan Asatur²**

¹*Institute of Geological Sciences, National Academy of Sciences of Armenia
375019, 24a, ave. M. Baghramyan, Yerevan, Armenia*

²*Institute of Informatics and Automation Problems,
National Academy of Sciences of Armenia,*

0014, Armenia, Yerevan, Paruyr Sevaki St., 1, Yerevan, Armenia

³*The International Scientific-Educational Center of the National Academy of Sciences
of the Republic of Armenia, Armenia Yerevan*

0019, M. Baghramyan 24d

e-mail: geosurpher@gmail.com

Received by the Editor 30.10.2024

Abstract

This article examines certain limitations of applying the Self-Organized Criticality (SOC) model to earthquakes. An analysis of earthquake distribution throughout the day reveals that in some areas, earthquake frequency strictly depends on the time of day, with more occurrences connected to the midday and midnight. This frequency also aligns with the lunar day cycle of 27.35 days. Proposed a new type of histogram illustrating the daily dependency of earthquake occurrences. It can be used for a better understanding of the seismic regime in the given territory within short time periods. It is concluded that earthquake-generating forces exhibit periodic patterns with periods of 12 and 24 hours, as well as 14 and 28 days. Since the combined tidal periodicity for spring tide is 12:25 or 24:50 per day presented in report observation is limiting the possibility to apply the trigger model of moon and sun combined forces influence to the earthquake generation process.

Key words (earthquake distribution, SOC model, daily distribution, earthquake model).

Introduction

The problem of earthquake forecasting is closely tied to their true nature. The scientific community is divided into two opposing groups: one believes

earthquakes are predictable (Danijel Schorlemmer et al., 2018; Keilis-Borok 1988; Adams R.D. 1976.), while the other believes they are virtually impossible to predict (Yan Y. Kagan 1997; Mulargia F. et al. 1996). This latter view is more common, supported by the very limited success in predicting earthquakes. Although no widely accepted forecasting method exists, this does not imply that the task is inherently unsolvable. True scientific arguments for the inherent unpredictability of earthquakes need to be presented to justify such a strong claim. A detailed understanding of the mechanism of the earthquake preparation process is the key.

Some researchers have classified earthquakes as SOC phenomena, which are unpredictable by nature (Geller et al., 1997). This idea assumes that earthquake magnitude "develops" during the event, similar to avalanches. The magnitude of an avalanche does not depend on the specific trigger but rather on the amount of accumulated snow, its condition, and other environmental factors (Geller et al., 1997). This conclusion is primarily supported by laboratory experiments using an "earthquake apparatus" (e.g., Stein, 1999) that aims to replicate natural earthquake conditions.

Stein's laboratory experiments show that brick on sandpaper, as it is positioned on Figure 1, will cover different distances S over the same amount of applied forces F . There is no correlation between the amount of applied force and the distance covered by brick.

In terms of earthquake magnitude, this means that it does not depend on the last amount of trigger forces. However, applying this conclusion to actual earthquakes remains questionable and requires further verification, as the experimental basis alone does not fully justify the widespread notion of earthquake unpredictability in the scientific community.

To test whether earthquakes genuinely represent SOC phenomena, we must first assess the adequacy of the laboratory model in relation to observed natural phenomena. The main assumption in the SOC model is that the force leading to earthquakes steadily increases, reaching a critical threshold at the earthquake's onset (Bak P., 1996.). This assumption stems from the fact that, in experiments with a brick on sandpaper, a constantly increasing force is applied until the block begins to move, with the displacement being unpredictable in relation to the force applied.

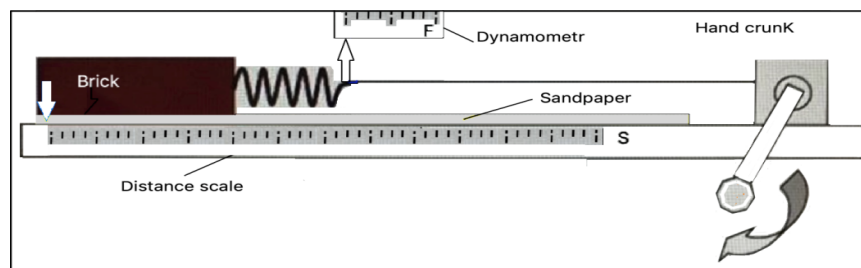


Fig.1. Earthquake simulation apparatus principal schematic view.

The variability in both the threshold force required to initiate movement and the resulting displacement led some researchers to conclude that the process is Self Organised Critically (Staine 1999). They hypothesized that the block's movement derives energy from sources beyond the last applied portion of pulling force, making it inherently unpredictable. This has drawn parallels to avalanches, where a small trigger (e.g., a single snowball) can result in a large, self-sustaining chain reaction, suggesting self-organization. However, predicting the scale of such events remains difficult due to unknown factors in the initial conditions.

In the context of earthquakes, proponents of this model argue that large earthquakes are essentially a “non-stop” small one. Since the individual small earthquakes are unpredictable, because there are too many of them, the larger events should also be unpredictable. However, the oversimplification of the phenomenon may be an obstacle to applying it to earthquakes.

One of the main differences seems to be the high friction in the real model. For instance, by putting the initial brick within a box of sand and covering it entirely to increase the friction within the system, we will obtain a completely different result. In the presented laboratory experiments, the friction in the system decreases after the brick starts moving. In contrast, during a real earthquake, because it occurs within the lithosphere, the resistance to movement after it begins is expected to increase sharply.

Data and Results

Currently, the extension of the oceanic floor due to mantle convection is regarded as the primary mechanism driving tectonic plate movement. This continuous plate motion generates forces that cause earthquakes, both at tectonic plate boundaries and within plates (intraplate). Since the spreading rate of the oceanic crust and the velocity of tectonic plate movement remain constant, it is assumed that the overall rate of stress accumulation leading to earthquakes steadily increases (Forsyth, D., & Uyeda, S., 1975).

However, this last assumption that during the earthquake preparation process, the actually applied forces are constant in magnitude and direction requires further investigation. To test this, we analyzed earthquake distribution over time. Our study focused on the Transcaucasia region, using data from the NSSP Armenia seismic catalog. For the territory of Armenia, earthquakes within a one-hour time zone interval, from 1962 up to 2007 (17833 events), regardless of magnitude, were chosen for this analysis. The time of each earthquake was converted to local time. Daytime was divided into minutes ($24 \times 60 = 1440$ min), and the overall number of events per each minute interval of the day for the entire instrumental period of earthquake monitoring was counted (Fig. 2).

If the forces responsible for earthquake preparation were constant, we would expect a uniform distribution of earthquake occurrences throughout

the day. However, our results indicated the contrary, implying variability in the forces involved.

The peak number of earthquakes occurred around midday (720 minutes), and the distribution showed a periodic nature over a 24-hour cycle, as it can be seen on fig.2. This pattern was also tested for the lunar cycle 27.35 days, as it can be seen in fig.3.

If seismic activity was independent of the lunar day, seismic events would distribute evenly across the entire interval. Our analysis revealed periodicities of approximately 14 and 28 days, suggesting that earthquake activity in the region is influenced by both solar and lunar cycles.

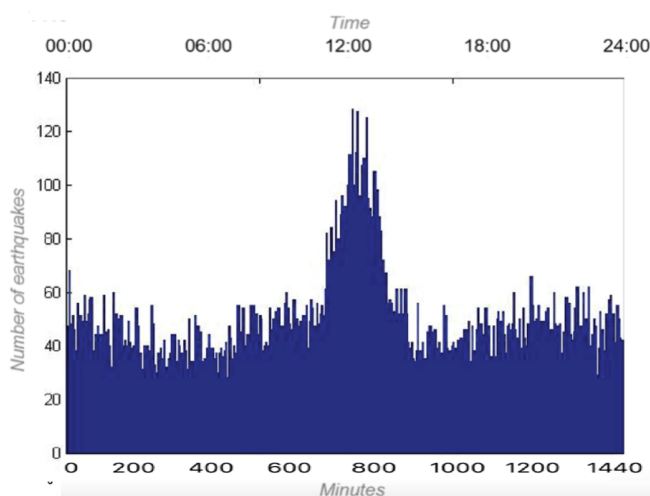


Fig.2. Earthquake distribution by the time of day in minutes for entire instrumental period 1961 2007 year for the territory of Armenia (**Kazarian, Mkrtchyan 2017**).

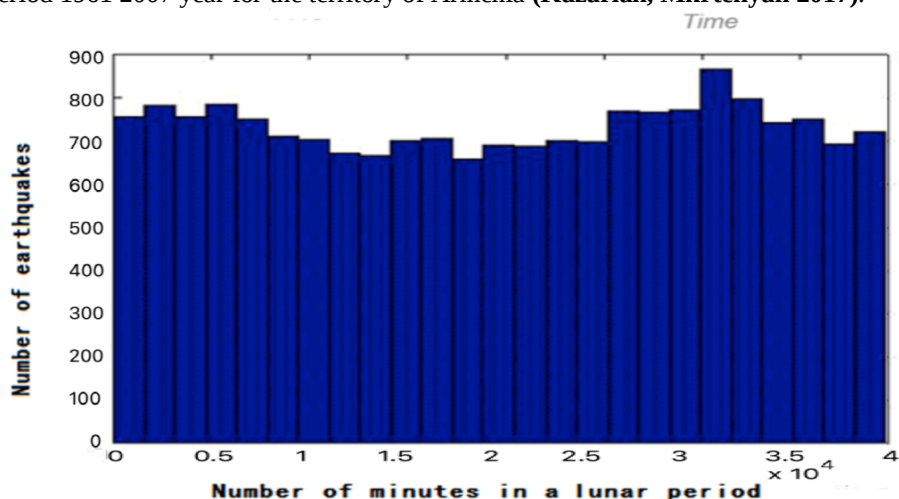


Fig.3. Earthquake distribution by the lunar day (27.35 days, 39384 minutes).

These findings suggest that, in reality, the forces responsible for earthquake preparation are periodic in nature, with intervals of 12 hours, 24 hours, 14 days, and 27.35 days. Understanding the exact implications of this periodicity requires further research. For now, we argue that the constant-force assumption in laboratory experiments has limited applicability to natural earthquake preparation processes. It's more reasonable to assume that they have periodic character according to the revealed periodicity of seismic activity. The correlation of the number of earthquakes with solar and lunar periodicity needs further investigation.

To test whether this periodicity is region-specific, we replicated the study using data from the seismic catalog on territory of Turkey. Although the seismic catalog of Turkey (Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute (KOERI) catalog2005–2016, 200204 events) is recorded spanning over two time zones we do obtaine similar result. (fig.4).

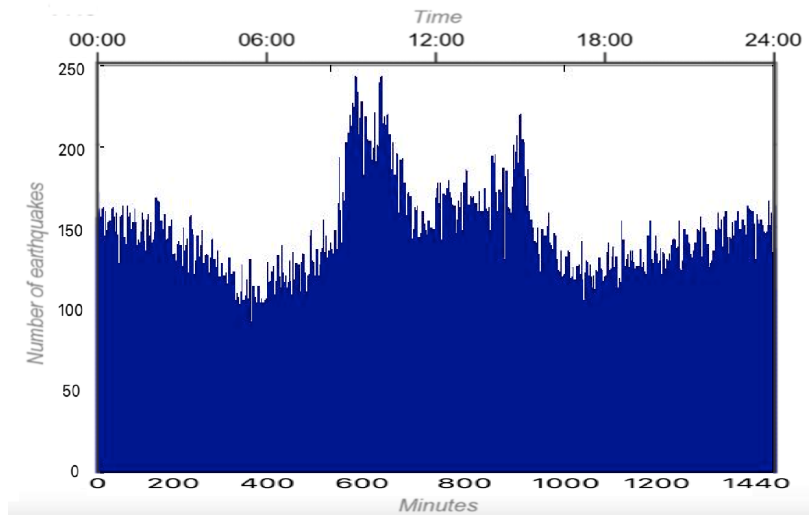


Fig.4. Earthquake distribution by the time of day in minutes for the entire instrumental period 1961-2007 year for the territory of Turkey (Kazarian, Mkrtchyan 2017).

The narrow maximums on this histogram correspond to the industrial mining activity however, after removing them, the basic line for seismicity revealed bimodal distribution with major activity by midday and midnight.

Discussion

A detailed study of earthquake frequency per minute could reveal the influence of fault orientation and structural anisotropy on daily earthquake distributions, which is the subject of our future research. Earlier, it was demonstrated (Kazarian, Mkrtchyan 2017) the correlation between the unimodal and bimodal distribution of earthquakes during the daytime and dominated focal

mechanisms for the territory of Greece and Italy compared to the territory of Turkey and Armenia. However, within this report we want to concentrate on the possibility of the SOC model application for the earthquakes and the assumed triggering role of the planetary forces on the process.

Obtained results show the correlation of the number of earthquakes with planetary rotation, primarily with the period of daily rotation and the period of common rotation of Earth and Moon around the barycenter. It is important to mention that the revealed periodicities are not tidal periods since those have a period of 12 hours and 25 minutes or 24 hours and 50 minutes. Consequently, the combined amplitude of Moon and Sun tidal forces is unlikely to serve as a trigger for earthquakes.

A more detailed explanation is needed to make our point clearer. On the one hand, we observe the periodicity of earthquakes with diurnal and semidiurnal cycles, as well as the bimodal distribution during the lunar cycle (28 days). The correlation between planetary periodicity and basic seismicity appears evident. However, we argue that the combined amplitude of the Sun and Moon's tidal forces cannot be solely responsible for triggering earthquakes.

The presence of planetary periodicity (12 and 24 hours) does not imply a direct connection to combined tidal forces, as the latter have a periodicity of 12 hours and 25 minutes. If seismic activity were tied to (maximum) spring tides, it would shift by 50 minutes each day. For example, if it coincided with noon on a given day, it should shift to 12:50 the following day, 13:40 the day after, then 14:30, and so forth.

The instance of principal tidal constituents with corresponding average amplitude and periodicity are shown in Table 1. Tidal forces consist of several components most influenced presented (Coastal Dynamics. Judith Bosboom, Marcel J.F. Stive). The main lunar tide has a period of 12.42 h and the main solar tide a period of 12 h respectively (M_2 and S_2). The basic seismicity reveal connection to only principal solar S_2 period. Although the lunar M_2 constituent has more than 2 times influence in tidal daily amplitude. The seismicity relation to Lunar period reveals only on 28-day histogram, which corresponds to Mm 327.9 h and Mf 661.3 h constituency.

We also can see that Lunar-Solar declination K_1 with period 23.93 h also can be blamed for initial activation of seismicity. However, as it clearly seen from the table the most influential principal lunar M_2 constituent with period 12.42 h does not reflect by basic seismic activity. This brings us to the conclusion that amplitude of tidal forces unlikely can be blamed for increase of seismic activity.

Table 1: Principal tidal constituents with equilibrium amplitudes (Coastal Dynamics. Judith Bosboom, Marcel J.F. Stive).

Tidal constituents	Name	Amplitude [m]	Period [h]
Semidiurnal			
Principal lunar	M_2	0.24	12.42

Principal solar	S2	0.11	12
Lunar elliptical	N2	0.046	12.66
Lunar-solar declinational	K2	0.031	11.97
Diurnal			
Lunar-solar declinational	K1	0.14	23.93
Principal lunar	O1	0.1	25.82
Principal solar	P1	0.047	24.07
Lunar elliptical	Q1	0.019	26.87
Long Period			
Fortnightly	Mf	0.042	327.9
Monthly	Mm	0.022	661.3
Semiannual	Ssa	0.019	4383

In the context of the Self-Organized Criticality (SOC) model for earthquake preparation, as demonstrated by Stain's laboratory experiments, the constant tension on the cord represents the continuous build-up of tectonic stress. Our statistical analysis of seismic data from the region suggests that the applied forces likely have a periodic nature with planetary cycles, but they do not align with the timing of maximum tidal forces.

The strongest earthquakes in the region sometimes align with new or full moon. Figure 4 illustrates the most significant earthquakes in the region from 1900 to 2023, with some coinciding with new or full moons:

1. Kahramanmaraş doublet (2023, M=7.8)
2. Manjil-Rudbar (1990, M=7.8)
3. Tabas (1978, M=7.4)
4. Amorgós (1956, M=7.7)
5. Ilgaz (1943, M=7.5)
6. Erzincan (1939, M=7.8)

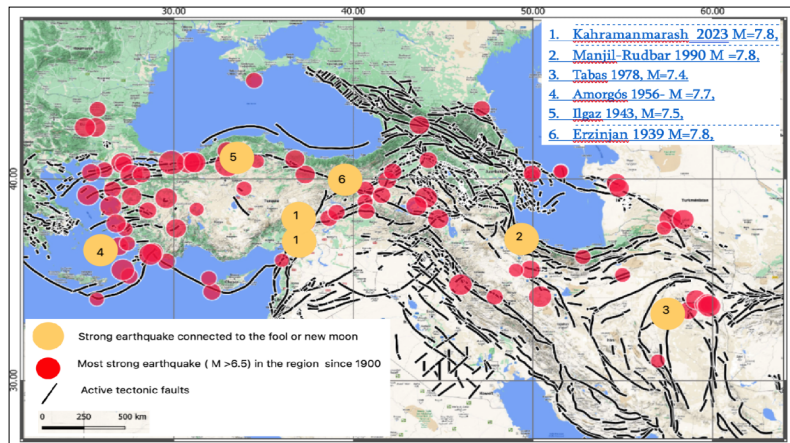


Fig.4. The strongest events in the region since 1900 according to the USGS catalog. Active tectonic faults presented by Trifonov, Karakhanyan (Trifonov, Karakhanyan 1994, 1996).

It is noteworthy that while the number of strong earthquakes coinciding with new or full moons is not large, their proportion increases with increase of the magnitude.

The histograms discussed above show that the increase in earthquake occurrences during specific periods predominantly consists of weaker events. These weaker events generally are more frequent, as described by the Gutenberg-Richter empirical Law (Beno Gutenberg and Charles F. Richter 1940).

Since the attached to the midday and midnight time earthquakes has low magnitude, we can conclude that the geological media was not in a critical state when planetary forces was assumed to act as a trigger.

According to SOC theory, the magnitude of an earthquake develops as the event unfolds after the initial trigger. If strong earthquakes are essentially “uninterrupted” sequences of weaker ones, then tidal forces are unlikely to be the triggers for such events. This restricts the potential role of tidal forces amplitude in earthquake generation. From the other side we observe the correlation of the weak earthquakes with 14 and 28 days of lunar periodicity. This, in turn, suggest that seismic activity indeed connected with planetary rotation.

Conclusion

In summary, the SOC model with triggering mechanism at the end of the earthquake preparation process's applicability is limited, at least in certain regions. Daily periodic characteristics of seismicity, which vary by region, could complement the Gutenberg-Richter law in characterizing seismic activity. We anticipate that earthquake activity's daily distribution might shift during earthquake preparation periods, potentially providing new insights into the earthquake preparation process. It is difficult to imagine that an area with an active earthquake preparation process frequently reaches a critical stage at midday/midnight or at the new or full moon. Understanding these periodic characteristics in different regions may lead to a more complete model of earthquake behavior. Our study reveal that the basic seismicity has close relation to planetary rotations, however it also shows that this connection is unlikely goes through the increase of last portion of tectonic stress implied by combination of moon and sun tidal forces.

All above mentioned bring us to the conclusion that directional component of tidal forces playing more significant role in earthquake generation process then it was assumed previously.

References

- Danijel Schorlemmer, Maximilian J. Werner, Warner Marzocchi, Thomas H. Jordan, Yosihiko Ogata, David D. Jackson, Sum Mak, David A. Rhoades, Matthew C. Gerstenberger, Naoshi Hirata, Maria Liukis, Philip J. Maechling, Anne Strader, Matteo Taroni, Stefan Wiemer, Jeremy D. Zechar, Jiancang Zhuang.** 2018. The Collaboratory for the Study of Earthquake Predictability: Achievements and Priorities. *Seismological Research Letters*, 89 (4): p. 1305–1313. doi: <https://doi.org/10.1785/0220180053>
- Keilis-Borok V.I. Knopoff L. Rotwain I.M. Allen C.R.** 1988. Intermediate-term prediction of occurrence times of strong earthquakes, *Nature*, 335, p. 690–694.
- Adams R.D.** 1976. The Haicheng, China, earthquake of 4 February 1975: The first successfully predicted major earthquake, *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, 4, p. 423–437.
- Mulargia F. Marzocchi W. Gasperini P.** 1996. Re-Rebuttal to the reply of Varotsos *et al.*, *Geophys. Res. Lett.*, 23, p. 1343–1344.
- Yan Y. Kagan.** 1997. Are earthquakes predictable?, *Geophysical Journal International*, Volume 131, Issue 3, December 1997, p. 505–525, <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1997.tb06595.x>
- Bak P.** 1996. *How Nature Works: the Science of Self-Organized Criticality*, Copernicus, New York, NY.
- Stein R. S.** 1999. The role of stress transfer in earthquake occurrence. *Nature*, 402, p. 605–609.
- Forsyth, D., & Uyeda, S.** 1975. On the relative importance of driving forces of plate motion. *Geophysical Journal International*, 43(1), 163–200.
- Geller R. J.** 1997. Earthquake prediction: a critical review. *Geophys. J. Int.*, 131, p. 425–450.
- Geller R. J., Jackson D. D., Kagan Y. Y., & Mulargia F.** 1997. Earthquakes cannot be predicted. *Science*, 275, p. 1616–1617.
- Kazarian A.E., Mkrtchyan M.K.** 2017. About the periodic nature of earthquakes 2017. Volume 70, Number 2 ISSN 0515-961X
- Judith Bosboom Marcel J.F. Stive Coastal Dynamics** <https://orcid.org/0000-0002-5376-3867>, <https://orcid.org/0000-0002-9820-6351> DOI: <https://doi.org/10.5074/T.2021.001>)
- Trifonov V.G., Karakhanian A.S., Kozhurin A.J.** 1994. Major active faults of the collision area between the Arabian and the Eurasian plates. Proc. of the Conference on Continental Collision Zone Earthquakes and Seismic Hazard Reduction. IASPEI/IDNDR, Yerevan, p. 56 – 79.
- Trifonov V.G., Karakhanian A.S., Berberian M., Ivanova T.P.** 1996. Active faults of the Arabian Plate bounds, Caucasus and Middle East. *J. Earthq. Predict. Res.* 5 (3), p. 363–374.
- Gutenberg B., and Richter C.F.** 1944. *Frequency of earthquakes in California*. Bulletin of the Seismological Society of America, 34(4), p. 185–188.

ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԵՐԻ ՀԱՄԱՐ SOC ՄՈԴԵԼԻ ՀԱՎԵԼՎԱԾԻ ՄԱՀՄԱՆԱՓԱԿՈՒՄՆԵՐԻ ՄԱՍԻՆ

**Ղազարյան Արմեն, Մինասյան Գայանե, Տեր-Վարդանյան Լիլիթ,
Մկրտչյան Ասատուր**

Ամփոփում

Այս հոդվածում ուսումնասիրվում են ինքնակազմակերպված կրիտիկական (Self Organised Criticaly) մոդելի կիրառման որոշ սահմանափակումները երկրաշարժերի դեպքում: Օրվա ընթացքում երկրաշարժերի բաշխման վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ երկրաշարժերի հաճախականությունը խստորեն կախված է օրվա ժամից՝ առավել հաճախականությամբ կապված լինելով կեսօրի և կեսգիշերի հետ: Այս հաճախականությունը համընկնում է նաև 27.35 օր տևողությամբ լուսնային օրվա ցիկլին: Առաջարկվում է նոր տեսակի հիստոգրամա, որը ցուցադրում է երկրաշարժերի առաջացման օրական կախվածությունը: Այն կարող է օգտագործվել տվյալ տարածքում կարճ ժամանակահատվածներում սեյսմիկ ռեժիմի ավելի լավ ըմբռնման համար: Եզրակացվում է, որ երկրաշարժեր ստեղծող ուժերը դրսևորում են պարբերականության նմուշներ մոտավորապես 12 և 24 ժամ, ինչպես նաև 14 և 28 օր պարբերություններով: Սա սահմանափակում է երկրաշարժերի առաջացման գործընթացում Լուսնի և Արևի համատեղ ազդեցության մոդելի կիրառման հնարավորությունը:

ОБ ОГРАНИЧЕНИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИ SOC ДЛЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

**Казарян Армен, Минасян Гаяне, Тер-Варданян Лилит,
Мкртчян Асатур**

Резюме

В данной статье рассматриваются некоторые ограничения применения модели самоорганизующихся систем достигших критического состояния (Self Organised Criticaly) к землетрясениям. Анализ суточного распределения землетрясений показывает, что частота появления землетрясений строго зависит от времени суток, связанными с полуднем и полночью. Эта частота также соответствует циклу лунного дня, составляющему 27,35 дня. Предложен новый тип гистограммы, иллюстрирующий суточную зависимость возникновения землетрясений. Он может быть использован для лучшего понимания сейсмического режима в течение коротких временных интервалов. Сделан вывод о том, что силы, генерирующие землетрясения, проявляют периодические закономерности с периодами примерно 12 и 24 часа, а также 14 и 28 дня, что ограничивает возможность применения триггерной модели влияния Луны и Солнца на процесс генерации землетрясений.

ԷԿՈԼՈԳԻԱ

DOI: 10.54503/0515-961X-2024.77.3-25

**ԿՈՏԱՅՔԻ ՄԱՐԶԻ ՀՈՂԵՐՈՒՄ ԲՆԱԿԱՆ ԵՎ ՏԵԽՆԱԾԻՆ
ՌԱԴԻՈՆՈՒԿԼԻԴՆԵՐԻ ՏԱՐԱԾԱԲԱՇԽՄԱՆ
ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆԵՐԸ**

**Հովհաննիսյան Սպարտակ, Մովսիսյան Նոնա, Գևորգյան Աննա,
Բեյլանա Օլգա**

ՀՀ ԳԱԱ Էկոլոգանոսֆերային հետազոտությունների կենտրոն
e-mail: spartak.hovhannisyan@cens.am

Հանձնված է խմբագրություն 09.07.2024

Անոտացիա

Կոտայքի մարզի գյուղատնտեսական նշանակության հողերի բազմաֆունկցիոնալ հանույթից ստացված նմուշները օգտագործվել են գումարային α/β ակտիվության, ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K և ^{137}Cs -ի տեսակարար ակտիվությունների տարածաբաշխման առանձնահատկությունների վրա ազդող գործոնների բացահայտման համար: Կոտայքի մարզի հողերում ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ակտիվությունները պայմանավորված են տվյալ տարածքի երկրաբանական առանձնահատկություններով և մարդու գյուղատնտեսական գործունեությունը դրանց ակտիվության վրա ազդեցություն չի ունենում: ^{137}Cs -ի դեպքում պատկերն այլ է, դրա ակտիվությունը պայմանավորվում է նախ՝ տարածքի բարձրությամբ, այնուհետև՝ հողօգտագործման տիպով: Նույն բարձրության վրա գտնվող տարածքների բնահողերում և արոտավայրերի հողում ^{137}Cs -ի ակտիվությունը ավելի բարձր է այն հողահանդակներից որոնց հողերը ենթարկվել են մեխանիկական մշակման՝ հերկում, փխրեցում և այլն:

Բանալի բառեր՝ Գումարային α/β ակտիվություն, բնական ռադիոանուկլիդներ, ^{137}Cs , գյուղատնտեսական հողեր, Կոտայքի մարզ:

Ներածություն

Մարդու և այլ կենդանի օրգանիզմների ճառագայթահարումը պայմանավորվում է հիմնականում շրջակա միջավայրում պարունակվող

բնական ^{238}U և ^{232}Th -ով ու դրանց դուստր ռադիոնուկլիդներով (^{226}Ra , $^{222,220}\text{Rn}$, $^{214,212}\text{Pb}$, $^{214,212}\text{Bi}$ և այլն), ինչպես նաև տրոհման շարք չառաջացնող ^{40}K -ով (Порогов, Дубковский, 2012; UNSCEAR 2007, 2011): Բացի նշված բնական ռադիոնուկլիդներից ճառագայթահարման դոզայում որոշակի մասնաբաժին ունեն տեխնածին ռադիոնուկլիդները որոնցից կարևորվում է ^{137}Cs : Այն շրջակա միջավայրում տարածվել է միջուկային զենքի փորձարկումների և միջուկային վթարների ու աղետների հետևանքով (Burger and Lichtscheidl, 2018; Masson et al., 2021):

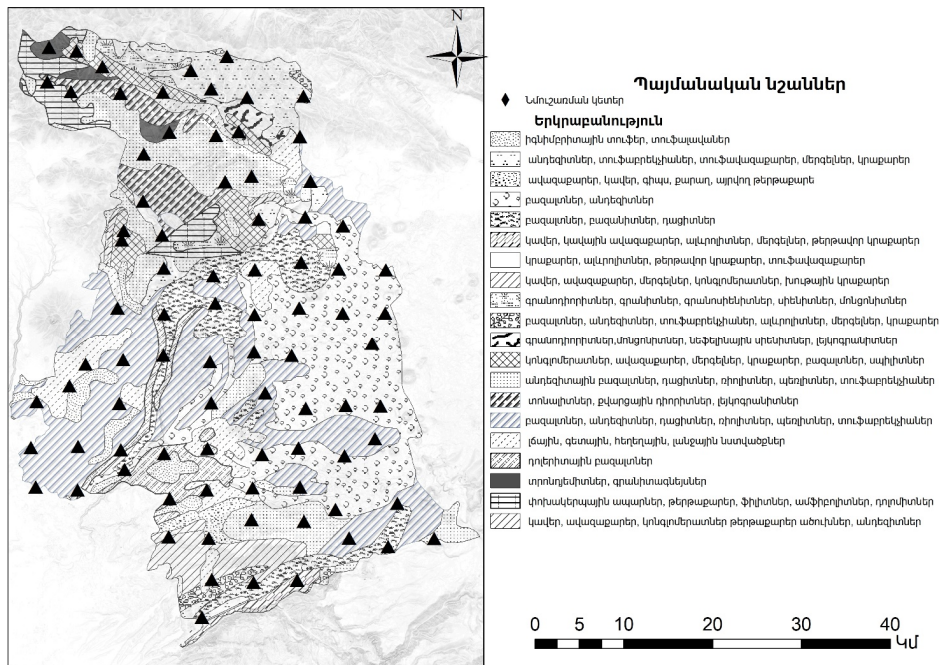
Շրջակա միջավայրի դեպոնենտ բաղադրիչներում, ինչպիսին հանդիսանում է հողը, բնական ու տեխնածին ռադիոնուկլիդների, ինչպես նաև գումարային α/β ակտիվության տարածաբաշխման առանձնահատկությունների ուսումնասիրությունն ունի և՛ գիտական և՛ կիրառական նշանակություն: Գյուղատնտեսական նշանակության հողերի ռադիոէկոլոգիական հետազոտությունները հատկապես անհրաժեշտ են մարդու վրա ռադիոակտիվ նյութերի ազդեցության, առողջական ռիսկի և այդ տարածքում ստացվող բուսական ու կենդանական ծագման գյուղատնտեսական մթերքում ռադիոնուկլիդների հնարավոր կուտակումը գնահատելու համար: Նմանատիպ հետազոտությունները արդիական են քանի որ ժամանակակից մարդկային գործունեությունը հաճախ հանգեցնում է բնական և մարդածին ռադիոակտիվ նյութերի ավելացման կամ վերաբաշխմանը (Բեյլանա և այլոք, 2019; Арбызов and Рихванов, 2010; UNSCEAR, 2011):

Սույն հետազոտության նպատակն է ՀՀ Կոտայքի մարզի գյուղատնտեսական նշանակության հողերում գումարային α/β ակտիվության, բնական ^{226}Ra , ^{232}Th ու ^{40}K -ի և մարդածին ^{137}Cs տեսակարար ակտիվության գնահատումը և տածաբաշխման առանձնահատկությունների բացահայտումը:

Նյութեր և մեթոդներ

Կոտայքի մարզը տեղակայված է Հայաստանի Հանրապետության կենտրոնական մասում, ծովի մակերևույթից 900-2500մ բարձրության վրա: Մարզի հյուսիսում և հյուսիս-արևելքում տեղակայված է Գեղամա լեռնաշղթան: Դրա արևմտյան ստորոտից սկսվում է Կոտայքի սարավանդը որը հարավ-արևմուտքում աստիճանաբար իջնելով՝ ձուլվում է Արարատյան դաշտին: Մարզի հիմնական լեռնագրական միավորներն են Կոտայքի և Եղվարդի բլրաալիքային սարավանդները, Մարմարիկի վտակներով կտրտված Փամբակի լեռնաշղթայի լանջերը, Գեղամա լեռնաշղթայի լեռնաձյուղերն ու լավային հոսքերը (Բաղդասարյան, 1971):

Մարզի տարածքում հիմնականում տիրապետող են կիսաանապատային և լեռնատափաստանային լանդշաֆտները՝ համապատասխան բուսական և կենդանական աշխարհներով: Գերակշռում են լեռնատափաստանային և լեռնաշագանակագույն հողերը, բարձրադիր վայրերում՝ ենթալպյան լեռնամարգագետնային, սևահողանման ու դարչնագույն հողերը (Բաղդասարյան, 1971): Ուսումնասիրվող տարածքի երկրաբանական հիմքը հիմնականում ներկայացված է տարբեր հասակի հրաբխային ապարներով՝ բազալտ, անդեզիտ և դացիտ (նկ. 1): Մարզի հյուսիսում հանդիպում են նեֆելինային սիենիտներ, գրանոդիորիտների և փոխակերպային ապարների շերտախմբեր: Մարզի հարավում որոշ տեղերում հանդիպում է կավի, կավավազի, թերթաքարի և տուֆի շերտախմբեր (Հայաստանի ազգային ատլաս, 2007):



Նկ.1. Կոտայքի մարզի երկրաբանության և հողերի նմուշառման քարտեզ:

Սույն հետազոտության հիմք են հանդիսացել 2021 թ-ին Կոտայքի մարզում իրականացված երկրաքիմիական հողային հանույթից ստացված նմուշները (101 նմուշ): Նմուշառումն իրականացվել է հավասարաչափ քառակուսի ցանցով՝ 25կմ² նմուշառվել է գյուղատնտեսական նշանակության հողի մեկ համակցված նմուշ (աշխատանքների մասշաբ՝ 1:500000): Հողային նմուշը վերցվել է ցանցի յուրաքանչյուր վանդակի կենտրոնական հատվածքից՝ ծրարի մեթոդով (EPA QA/G-5S; ISO 10381-5:2005): Յուրաքանչյուր մեկ միասնական նմուշի (2.0-2.5կգ)

ստեղծման համար ենթանմուշները (300-500գ) վերցվել են 10մ կողմի երկարությամբ քառակուսու անկյունային հատվածներից և կենտրոնից: Չժանգոտվող պողպատից բաժի միջոցով նմուշառվել է հողի վերին 20սմ: Նմուշները տեղավորվել են պոլիէթիլենային տոպրակների մեջ, մակնշվել և տեղափոխվել լաբորատորիա, որտեղ նմուշները չորացվել, մաղվել (Demetriades, Birke, 2015), այնուհետև տեղադրվել են 1 լ տարողությամբ Մարինելի պլաստիկ անոթների մեջ, հերմետիկորեն փակվել և պահվել են առնվազն 21 օր՝ ռադիումի, ռադոնի և կարճ ապրող դուստր ռադիոնուկլիդների միջև դարավոր հավասարակշռություն հաստատման համար (Gilmore, 2008):

Բնական ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th և տեխնածին ^{137}Cs -ի ակտիվությունը որոշվել է ցածրաֆոնային գամմա սպեկտրաչափի (CANBERRA) միջոցով, որը բաղկացած է բարձր մաքրության գերմանիումի (HPGe coaxial detector) և բազմալիքային անալիզատորից (DSA-1000): Դետեկտորի ստուգաչափումն ըստ էներգիայի իրականացվել է ^{155}Eu և ^{22}Na պարունակող կետային աղբյուրի կիրառմամբ: Յուրաքանչյուր նմուշի համար գամմա սպեկտրի ստացումը տևել է 30000 վայրկյան, որից հետո սպեկտրի վերլուծությունն իրականացվել է Genie 2000 ծրագրի միջոցով: ^{40}K -ի և ^{137}Cs -ի ակտիվությունը չափվել է անմիջականորեն համապատասխանաբար 1460.82 և 661.65 կէՎ ֆոտոպիկերից, իսկ ^{226}Ra -ի և ^{232}Th -ի ակտիվությունը վերհաշվարկվել է ըստ դուստր նուկլիդների ֆոտոպիկերի՝ ^{226}Ra -ը ըստ ^{214}Pb (351.9 կէՎ) ու ^{214}Bi (609.2 կէՎ), ^{232}Th ՝ ըստ ^{212}Pb (239.0 կէՎ), ^{212}Bi (727.0 կէՎ) ու ^{226}Ac (911.0 կէՎ) (Gilmore, 2008): Կատարված չափումների որակն ապահովելու համար օգտագործվել է IAEA-447 ստանդարտ նմուշը:

Նմուշներում գումարային α/β ակտիվությունը որոշվել է iMatic (CANBERRA) α/β հաշվիչով՝ PIPS կարծր սիլիցիումային դետեկտորով, որը պաշտպանված է 10.16 սմ հաստությամբ կապարե պատյանով: Համակարգը ստուգաչափվել է ^{241}Am α - և $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ β -մասնիկների աղբյուրներով: Պահեստավորված նմուշներից 1-ական գ մանրացվել է ազաթե հավանգում, այնուհետև մանրացված նմուշի 0.7-ական գ տեղավորվել է ստանդարտ նմուշաբնիչում: Նմուշների հաշվարկի ժամանակը կազմել է 12000 վրկ. և նվազագույն հայտնաբերելի ակտիվությունը (Minimum Detectable Activity, MDA) որոշվել է iLink™ iSeries™ ծրագրային միջավայրում: Այն կազմել է 7.0 և 10.0 Բք/կգ գումարային α և β ակտիվությունների համար համապատասխանաբար:

Ստացված տվյալների վիճակագրական վերլուծությունը իրականացվել է IBM SPSS 20.0 ծրագրի միջոցով: Գումարային α/β ակտիվության ու ռադիոնուկլիդների բաշխվածության քարտեզները մշակվել են AcrMap 10.3 ծրագրի միջոցով՝ կիրառելով IDW (Inverse Distance Weighting) ինտերպոլյացիայի մեթոդը բնական ռադիոնուկլիդների

համար և Kriging ինտերպոլյացիայի մեթոդը ^{137}Cs -ի համար: Քարտեզները կառուցվել են ըստ ընտրանքների քվարտիլների՝ նվազագույն, 25–րդ քվարտիլ, մեդիան և 75–րդ քվարտիլ, առավելագույն:

Արդյունքներ և քննարկում

Գումարային α/β և ուսումնասիրվող ռադիոնուկլիդների բաշխվածությունն օրենք հայտնաբերելու համար իրականացված թեստերը ցույց են տվել որ բոլոր ռադիոնուկլիդները և գումարային α/β ակտիվությունները համապատասխանում են նորմալ բաշխվածության օրենքին (աղ.1):

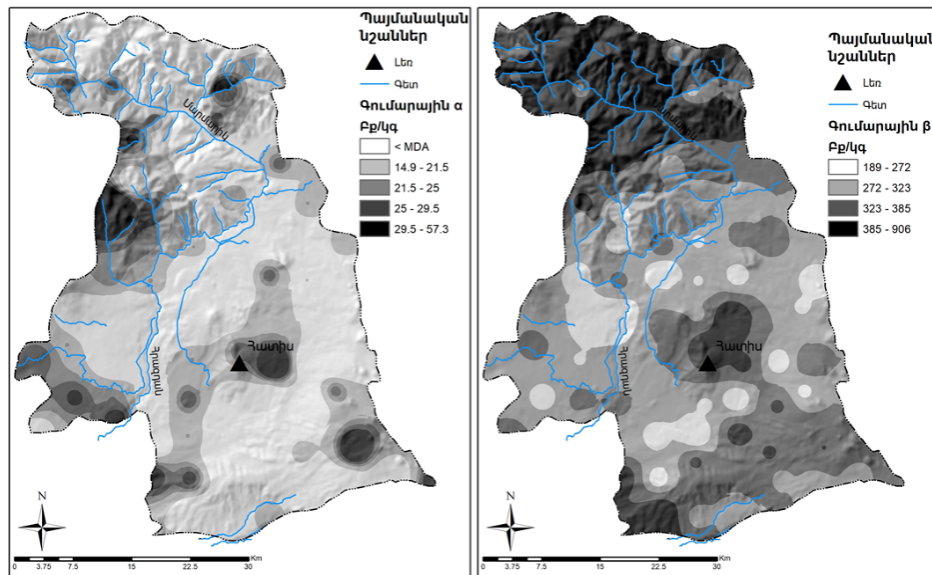
Աղյուսակ 1.

Գումարային α/β և ռադիոնուկլիդների նկարագրական վիճակագրական ցուցանիշները

Ցուցանիշ	Գում. β ակտ.	Գում. α ակտ.	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs
> MDA	42	86	86	86	86	86
Նվազագույն	15	189	14.3	12.5	259	0
Առավելագույն	57.6	907	80.1	73.3	942	122
Միջին	27.8	348	26.7	31	429	33.6
Մեդիան	25	323	24.9	29.3	378	27.5
Ստանդարտ շեղում	9.5	116	9.2	8.9	151	25.5
Նորմալության թեստ	0.000	0.001	0.000	0.006	0.007	0.000

Գյուղատնտեսական նշանակության նմուշների 48% գումարային α ակտիվությունը հայտնաբերման մակարդակից ցածր է եղել, իսկ մնացած նմուշներում այն տատանվում է 15-57 Բք/կգ տիրույթում՝ միջինում կազմելով 27.8 Բք/կգ (աղ.1): Մարզի տարածքում մի քանի կղզյակներով առանձնանում են բարձր գումարային α ակտիվություն ունեցող դաշտեր որոնք տեղակայված են մարզի հարավ-արևելքում, արևմուտքում և Հատիս լեռան շրջակայքում: Ամերաբարձր ակտիվություն ունեցող կետը գտնվում է մարզի արևմուտքում (նկ.2):

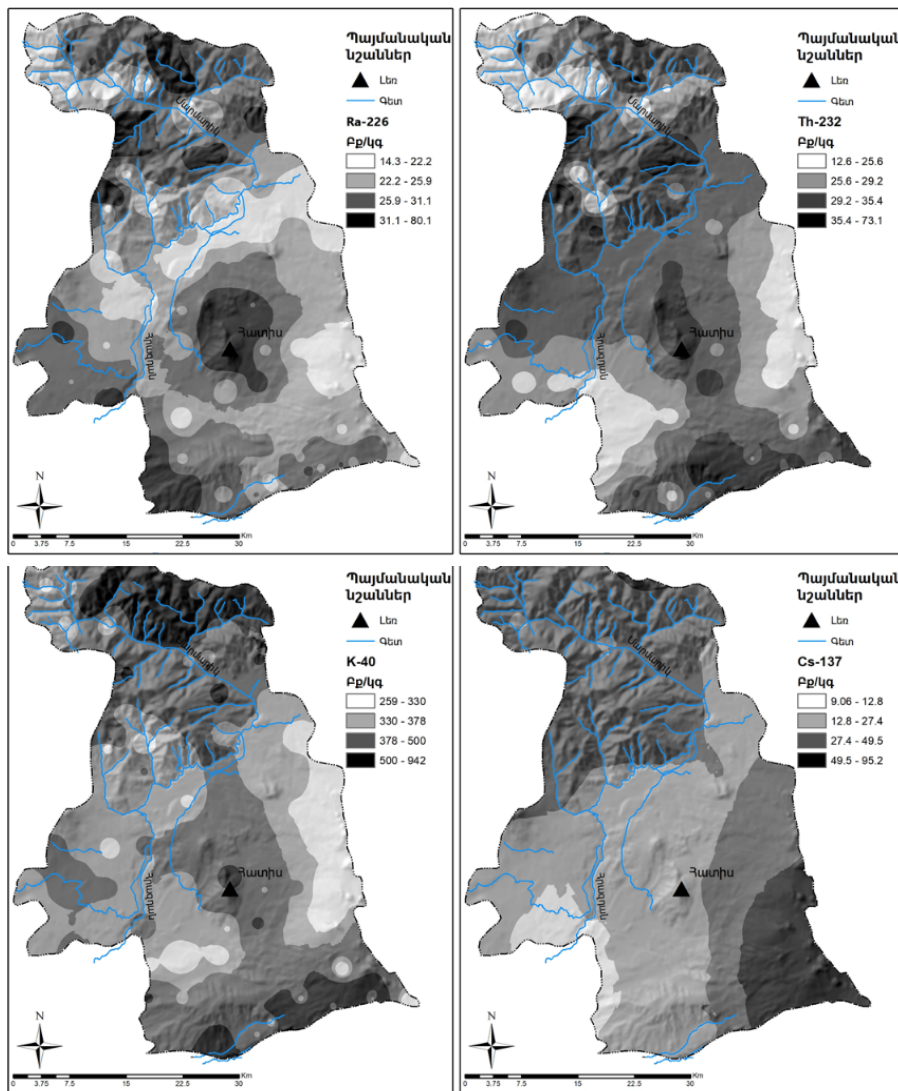
Ուսումնասիրված բոլոր նմուշներում գումարային β ակտիվությունը տատանվում է 189-907 Բք/կգ՝ միջինում հազմելով 348 Բք/կգ (աղ.1): Գումարային β ակտիվության բաշխվածությունը մարզի տարածքում բավականին օրինաչափ է: Կենտրոնական հարթավայրային շրջաններում միջին և միջինից ցածր արժեքներ են, իսկ հյուսիսում և հարավում լեռնային շրջաններում գումարային β ակտիվությունը միջինից բարձր է: Ամենաբարձր ակտիվությունները հայտնաբերվել են մարզի հյուսիսում (նկ.2):



Նկ. 2. Կոտայքի մարզի հողերի գումարային α և β ակտիվությունների քարտեզները

Կոտայքի մարզի հողերի բոլոր նմուշներում ուսումնասիրվող ռադիոնուկլիդների ակտիվությունները հայտնաբերման մակարդակից բարձր են եղել: ^{226}Ra տեսակարար ակտիվությունը տատանվում է 14.26–80.1 Բք/կգ միջակայքում՝ միջինում կազմելով 26.7 Բք/կգ: Ամենաբարձր ակտիվություններ հայտնաբերվել են մարզի կենտրոնական մասում՝ Հատիս լեռան շրջակայքում: Մի քանի միջինից բարձր արժեքներ հայտնաբերվել են մարզի հյուսիսում և հարավ–արևելքում: ^{226}Ra ամենացածր արժեքը հայտնաբերվել է մարզի հյուսիս–արևմուտքում: Միջինից ցածր արժեքներով դաշտեր հայտնաբերվել են Հրազդան և Մարաֆարիկ գետերի հովիտներում (նկ.3):

^{232}Th -ի տեսակարար ակտիվությունը Կոտայքի մարզի հողերում տատանվում է 12.53–73.3 միջակայքում՝ միջինում կազմելով 30.9 Բք/կգ: ^{232}Th -ի ամենաբարձր ակտիվությունը հայտնաբերվել է մարզի հարավում: Մարզի կենտրոնով հյուսիսից հարավ ձգվում է միջին և միջինից բարձր ակտիվությամբ բնութագրվող դաշտ, որը 2 կողմից (հարավ–արևմուտքից և հարավ–արևմուտքից) շրջապատված է միջինից ցածր ^{232}Th -ի ակտիվություն ունեցող դաշտերով: Ամենացածր արժեքները հայտնաբերվել են մարզի հյուսիս–արևմուտքում (նկ.3):



Նկ.3. Կոտայքի մարզի հողերում ռադիումի տորիումի կալիումի և ցեզիումի տարածաբաշխման քարտեզները:

^{40}K -ի տեսակարար ակտիվությունը Կոտայքի մարզի հողերում տատանվում է 259–942 միջակայքում՝ միջինում կազմելով 428 Բք/կգ: ^{40}K ամենաբարձր ակտիվությունը հայտնաբերվել է մարզի հյուսիսում՝ Փամբակի լեռնաշղթայի հարավային լանջերին: ^{40}K -ի միջինից բարձր ակտիվություն ունեցող հողաշերտերը տարածվում են մարզի կենտրոնում Հատիս լեռան շուրջը մինչև հարավ՝ Գեղամա լեռնաշղթայի հյուսիսային լանջեր, որտեղ նույնպես կան առավելագույն արժեքին մոտ արժեքներ: ^{40}K -ի միջինից ցածր ակտիվություն ունեցող հողերը տարածված են մարզի արևմուտքում և արևելքում, առավելագույն ակտիվությունը ևս հայտնաբերվել է մարզի արևելյան մասում (նկ.3):

^{137}Cs -ի տեսակարար ակտիվությունը հողերում տատանվում է 0.8-122.4 Բք/կգ միջակայքում՝ միջինում կազմելով 33.5 Բք/կգ (նկ.3): Գյուղատնտեսական նշանակության հողերում ^{137}Cs -ի տեսակարար ակտիվությունը աճում է ըստ նմուշառման կետի բացարձակ բարձրության, ինչպես ցույց էր տրվել Հայաստանի այլ տարածքներում իրականացված հետազոտությունների շրջանակներում բնահողերի համար (Բելյանա և այլք, 2019; Movsisyan et al., 2021; Pyuskyulyan et al., 2020): Ավելին, գյուղատնտեսական նշանակության հողերում ^{137}Cs -ի ակտիվությունը ցուցաբերում է ուժեղ դրական կորելացիա բարձրության հետ (աղ.2): Մարզի կենտրոնում և հարավ-արևմուտքում տարածված է ^{137}Cs -ի ցածր ակտիվության դաշտերը (6.06–27.4 Բք/կգ): Հովիտներից դեպի լեռնաշղթաների լանջն ի վեր շարժվելիս ^{137}Cs -ի ակտիվությունը հողերում աստիճանաբար աճում է Գեղամա ու Փամբակի լեռնաշղթաների լանջերի տարածքի հողերում՝ Թեժ լեռան գագաթամերձ շրջաններում հասնելով ամենաբարձր արժեքներն (նկ.3):

Կորելյացիոն վերլուծության արդյունքները (աղ.2) ցույց են տվել որ գումարային β ակտիվությունը նշանակալիորեն կորելացվում է ^{226}Ra և ^{40}K հետ: Մա, հավանաբար, պայմանավորված է նրանով որ այս երկու ռադիոնուկլիդները արձակում են β ճառագայթում: Գումարային α ակտիվությունը ցուցաբերել է թույլ դրական կորելացիա ^{137}Cs -ի հետ, որը հավանաբար կեղծ է, քանի որ ^{137}Cs -ը բետա ճառագայթող ռադիոնուկլիդ է: Բնական ռադիոնուկլիդների ակտիվությունները նշանակալիորեն կոռելյացվում են միմյանց հետ, բացի դրանից դրական թույլ կորելյացիա է գրանցվել հողում ^{40}K և ^{137}Cs -ի տեսակարար ակտիվությունների միջև (աղ.2):

Աղյուսակ 2.

Սպիայրմենի ոչ-գծային կորելյացիա գումարային α և β ակտիվության և ռադիոնուկլիդների տեսակարար ակտիվության միջև

	Գում. β ակտ.	Գում. α ակտ.	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs
Գում. β ակտ.	1					
Գում. α ակտ.	0.170	1				
^{226}Ra	0.444**	0.264	1			
^{232}Th	0.199	0.145	0.390**	1		
^{40}K	0.641**	0.136	0.456**	0.348**	1	
^{137}Cs	-0.032	0.358*	-0.098	0.118	0.260**	1
Բարձրություն ծ. մ.	0.157	0.218	-0.006	0.1814	0.203*	0.752**

** Կորելյացիան նշանակալի է 0.01 մակարդակում

* Կորելյացիան նշանակալի է 0.05 մակարդակում

Ստացված տվյալների հիման վրա իրականացվել է նաև դիսպերսիոն վերլուծություն (ANOVA)՝ հիմնվելով հողերի տարբեր օգտագործման վրա: Ըստ այդմ ընդհանուր ընտրանքը բաժանվել է վեց ենթընտրանքների (աղ.3) դիտարկումների անհավասարաչափ քանակով և կիրառվել է Կրուսկալ-Ուոլիսի և մեդիանի ոչ-պարամետրիկ թեստերը: Արդյունքները ցույց են տվել որ տարբեր նշանակություն ունեցող գյուղատնտեսական հողերում բնական ռադիոնուկլիդների ակտիվությունների տարբերությունները վիճակագրորեն նշանակալի չեն: Սա պայմանավորված է նրանով որ հողը իր ռադիոնուկլիդային կազմը ժառանգում է մայրական ապարներից: Այն տարածքները, որոնք աչքի են ընկնում բնական ռադիոնուկլիդների բարձր ակտիվությամբ, իրենց երկրաբանական հիմքում ունեն բազալտներ և դաքիտներ, որոնցում բնական ռադիոնուկլիդների պարունակությունը բարձր է: Պատկերը հակառակն է տեխնածին ^{137}Cs համար: Վերջինիս ենթընտրանքներում բաշխումը վիճակագրորեն նշանակալի տարբերվում են իրարից: ^{137}Cs -ի ամենամեծ ակտիվությունը հայտնաբերվել է բնահողում, այն տարածքում, որտեղ հողի վրա մարդու ազդեցությունը նվազագույնն է: Արոտավայրերի և անտառների հողերում ^{137}Cs ակտիվությունը միջինից բարձր է: Ցածր ակտիվություն հայտնաբերվել է վարելահողերում և պտղատու այգիների հողերում (աղ.3): Սա պայմանավորված է նրանով, որ վերջին երկու տիպի հանդակներում հողը պարբերաբար ենթարկվում են մեխանիկական մշանման՝ հերկում, փխրեցում և այլն, ինչի արդյունքում ^{137}Cs պարունակող հողի մակերևույթային շերտը խառնվում է խորքային շերտերի հետ, որոնք ^{137}Cs չեն պարունակում՝ բերելով տեսակարար ակտիվության նվազման: Այլ դիտարկված հանդակներում (արոտավայր, խոտհարք) որպես կանոն հողի մեխանիկական մշակում չի իրականացվում՝ հողաշերտերը չեն խառնվում և մթնոլորտային չոր և թաց տեղումների հետ հողի մակերեսին նստած ^{137}Cs -ը մնում է հողի վերին շերտում՝ պահվելով օրգանական նյութի կողմից (Koarashi et al., 2023):

Աղյուսակ 3.

Ռադիոնուկլիդների դիսպերսիոն վերլուծություն (ANOVA) ըստ նմուշառման տարածքների հողօգտագործման ձևի:

Ռադիոնուկլիդ	Թեստ	Նշանակալիության մակարդակ	Որոշում
^{226}Ra	Թեստ - Kruskal-Wallis	0.381	0-ական հիպոթեզը ընդունվել է
	Մեդիան թեստ	0.292	0-ական հիպոթեզը ընդունվել է
^{232}Th	Թեստ - Kruskal-	0.272	0-ական

	Wallis		հիպոթեզը ընդունվել է
	Մեդիան թեստ	0.033	0-ական հիպոթեզը մերժվել է
⁴⁰ K	Թեստ - Kruskal- Wallis	0.203	0-ական հիպոթեզը ընդունվել է
	Մեդիան թեստ	0.085	0-ական հիպոթեզը ընդունվել է
¹³⁷ Cs	Թեստ - Kruskal- Wallis	0.000	0-ական հիպոթեզը մերժվել է
	Մեդիան թեստ	0.000	0-ական հիպոթեզը մերժվել է

Եզրակացություն

Կոտայքի մարզի ռադիոէկոլոգիական հետազոտությունների արդյունքում բացահայտվել են մի քանի օրինաչափություններ:

Մարզի հողում գումարային β ակտիվության ամենաբարձր արժեքով է բնութագրվում մարզի հյուսիսը, ինչն պայմանավորված է տվյալ տարածքների գյուղատնտեսական նշանակության հողերում ²²⁶Ra և ⁴⁰K համեմատաբար բարձր ակտիվությամբ: Գումարային α ակտիվության հայտնաբերված ամենաբարձր արժեքներով է բնութագրվում մարզի արևմուտքում և Հատիս լեռան շրջակայքում տեղակայված գյուղատնտեսական հողերը: Տվյալ նմուշառման կետերում մեծ են ²²⁶Ra և ²³²Th ակտիվությունները, որոնց տրոհման շարքերում առկա են α ճառագայթող դուստր ռադիոնուկլիդներ:

Իրականացված վիճակագրական թեստերը վկայում են, որ բնական բոլոր ռադիոնուկլիդները նշանակալիորեն կորելացվում են իրար հետ, ունեն նորմալ բաշխվածություն, դրանց ակտիվությունը հողում կախված չէ հողօգտագործման տիպից: Սա հիմք է տալիս փաստելու, որ տվյալ ռադիոնուկլիդները ունեն բնական ծագում, հող են անցնում մայրապարների հողմնահարման արդյունքում և դրանց տարածաբաշխման վրա մարդու գյուղատնտեսական գործունեությունը մեծ ազդեցություն չի ունենում: Բնական ռադիոնուկլիդների բարձր ակտիվությունը Հատիս լեռան լանջերի հողերում պայմանավորված է տվյալ տարածքի երկրաբանական հիմքում տարբեր հասակի հրաբխային ծագման ապարներով (բազալտ, անդեզիտ, դաքիտ), որոնք, որպես կանոն,

առանձնանում են ռադիոնուկլիդների բավականին բարձր ակտիվությամբ:

Վիճակագրական վերլուծությունը թույլ է տալիս փաստելու որ տեխնածին ^{137}Cs -ի ակտիվությունը գյուղատնտեսական նշանակության հողերում պայմանավորված է տարածքի բարձրությամբ, ինչպես նաև գյուղատնտեսական հանդակի հողօգտագործման տիպով: Ամենաբարձր ակտիվությունը հայտնաբերվել է Գեղամա լեռնաշղթայի զագաթամերձ հատվածների բնահողում՝ 3000մ-ից ավելի մեծ բարձրությունների վրա:

Գրականություն

- Բաղդասարյան Ա.Բ.** 1971. Հայկական ՍՍՀ ֆիզիկական աշխարհագրություն. Երևան. Հայկական ՍՍՀ Գիտությունների Ակադեմիայի հրատ, 469 էջ:
- Հայաստանի ազգային ատլաս: 2007, Հատոր Ա: Երևան, Տիգրան Մեծ, 232 էջ:
- Բեյլանա Օ.Ա., Մովսիսյան Ն.Է., Փյունկյույան Կ.Բ., Սաղաթեյան Ա.Կ.** 2019. Cs-137 բաշխվածությունը Արագածի հողերում և չոր մթնոլորտային նստեցումներում: ՀՀ ԳԱԱ Տեղեկագիր, Գիտություններ Երկրի մասին, հ. 72, N 1, 57-66:
- Арбузов, С.И., Рихванов, Л.П.** 2010. Геохимия радиоактивных элементов: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 300 с.
- Погосов, В. А., Дубковский, А.Ю.** 2012. Ионизирующая радиация: радиоэкология, физика, технологии, защита. Одесса: Наука и техника, 804 с.
- Burger A., Lichtscheidl I.** 2018. Stable and radioactive cesium: A review about distribution in the environment, uptake and translocation in plants, plant reactions and plants' potential for bioremediation. Sci. Total Environ. 618, p. 1459–1485. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.298>
- Demetriades A., Birke M.** 2015. Urban Geochemical Mapping Manual: Sampling, Sample preparation, Laboratory analysis, Quality control check, Statistical processing and Map plotting. EuroGeoSurveys, Brussels, 162 pp.
- EPA QA/G-5S.** Guidance on Choosing a Sampling Design for Environmental Data Collection: for Use in Developing a Quality Assurance Project Plan. <http://www.epa.gov/QUALITY/qs-docs/g5s-final.pdf>
- ISO 10381-5: 2005.** Soil quality -- Sampling -- Part 5: Guidance on the procedure for the investigation of urban and industrial sites with regard to soil contamination
- Koarashi J., Atarashi-Andoh M., Nishimura S.** 2023. Effect of soil organic matter on the fate of ^{137}Cs vertical distribution in forest soils. Ecotoxicol. Environ. Saf. 262, 115177. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115177>
- Masson O., Romanenko O., Saunier O., Kirieiev S., Protsak V., Laptev G., Voitsekhovaly O., Durand V., Coppin F., Steinhäuser G., Vismes A., Renaud P., Didier D., Boulet B., Morin M., Hýža M., Camps J., Belyaeva O., Suarez-Navarro A., Wershofen H., Zapata-García D., Zorko B.** 2021. Europe-Wide

Atmospheric Radionuclide Dispersion by Unprecedented Wildfires in the Chernobyl Exclusion Zone, April 2020. Environ. Sci. Technol. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c03314>

Movsisyan N., Demirtchyan G., Pyuskyulyan K., Belyaeva O. 2021. Identification of radionuclides' altitudinal distribution in soil and mosses in highlands of Armenia. J. Environ. Radioact. 231, p. 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2021.106550>

Pyuskyulyan K., LaMont S.P., Atoyan V., Belyaeva O., Movsisyan N., Saghatelian A. 2020. Altitude-dependent distribution of ^{137}Cs in the environment: a case study of Aragats massif, Armenia. Acta Geochim., 2021, <https://doi.org/10.1007/s11631-019-00334-0>

Gilmore G.R. 2008. Practical Gamma-ray Spectrometry, 2nd edition. John Wiley & Sons Ltd, Warrington, UK., 387 p.

UNSCEAR. 2007. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York, DOI: <https://doi.org/10.18356/184ab5d4-en>

UNSCEAR. 2011. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2011, United Nations, New York. DOI: <https://doi.org/10.18356/19fb7f96-en>

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВАХ КОТАЙСКОЙ ОБЛАСТИ

Оганесян Спартак, Мовсисян Нона, Геворкян Анна, Беляева Ольга

Резюме

Выявлены факторы, влияющие на особенности распределения суммарной α/β -активности, удельной активности ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K и ^{137}Cs в сельскохозяйственных почвах Котайкской области, с использованием фактического материала многофункциональной геохимической съемки. Активность ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K в почвах Котайкской области определяется геологическим строением местности и сельскохозяйственная деятельность человека не влияет на их активность. В случае с ^{137}Cs картина иная, его активность зависит в первую очередь от высоты местности, а также от типа землепользования. Активность ^{137}Cs в целинной почве и почве пастбищ, расположенных на той же высоте выше, чем в почве, которая периодически подвергалась механической обработке: вспашке, рыхлению и пр.

CHARACTERISTICS OF DISTRIBUTION OF NATURAL AND ARTIFICIAL RADIONUCLIDES IN SOILS OF KOTAYK REGION

Hovhannisyan Spartak, Movsisyan Nona, Gevorgyan Anna, Belyaeva Olga

Abstract

In this article, the factors influencing the spatial pattern of gross α/β activity, specific activity of ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K and ^{137}Cs were revealed applying samples of multifunctional survey of agricultural soils of Kotayk region. The activity of ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K in the soils is determined by the geological characteristics of the area and human agricultural activity does not affect their spatial distribution. The situation is different for ^{137}Cs , the activity of which depends first on the altitude of the terrain and then on the type of land use. The activity of ^{137}Cs in the soil of virgin soils and soils of pastures at the same altitude is higher than in the soil that has been subjected to mechanical treatment: tillage, loosening, etc.

DOI: 10.54503/0515-961X-2024.77.3-38

**ՕՂԱՏԻՋԵՐԱԿԱՆ ՀԵՌԱԶՆՆՄԱՆ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ ՀՀ ՈՐՈՇ
ԳՅՈՒՂԱՏՆՏԵՍԱԿԱՆ ՀՈՂԱՀԱՆԴԱԿՆԵՐԻ ԷԿՈԼՈԳԻԱԿԱՆ
ՎԻՃԱԿԻ ԵՎ ՏԱՐԱԾԱԺԱՄԱՆԱԿԱՅԻՆ
ՓՈՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ԳՈՐԾՈՒՄ**

**Այվազյան Գրիգոր, Խլղաթյան Անահիտ, Մուրադյան Վահագն,
Ասմարյան Շուշանիկ**

*ՀՀ ԳԱԱ Էկոլոգանոսֆերային հետազոտությունների կենտրոն,
Արուլյան 68, 0025 Երևան, ՀՀ
e-mail: grigor.ayvazyan@cens.am
Հանձնված է խմբագրություն 25.11.2024*

Հետազոտության նպատակն է գնահատել հեռազննման տեխնոլոգիաների ներուժը ՀՀ գյուղատնտեսական տարբեր հողատեսքերի էկոլոգիական վիճակի գնահատման գործում, որի համար ընտրվել են գյուղատնտեսական երկու հողատեսքեր՝ բնական կերահանդակներ և խաղողի այգիներ:

Բնական կերահանդակների համար իրականացվել է Landsat սերիայի արբանյակային պատկերների 22 տարվա ժամանակային շարքի վերլուծություն ՆՏԲԻ հիման վրա, իսկ խաղողի այգիներում իրականացվել են խաղողի տերևում քլորոֆիլի պարունակության չափումներ, անօդաչու թռչող սարքով բազմասպեկտրալ նկարահանում և ստացված տվյալների համադրում՝ Մեքենայական ուսուցման մոդելների կիրառմամբ: Ըստ ստացված արդյունքների, կերահանդակներում բուսականության վիճակի վատթարացում չի դիտվում, իսկ Մասնակի նվազագույն քառակուսիների ռեգրեսիոն մեթոդը գոհացուցիչ արդյունքներ է տալիս խաղողի տերևներում քլորոֆիլի պարունակության կանխատեսման համար ($R^2_{val} = 0.49$, $RMSE_{val} = 43.68$):

Բանալի բառեր՝ օդատիեզերական հեռազննում, ԱԹՍ, բնական կերահանդակ, խաղողի այգի, քլորոֆիլ, մեքենայական ուսուցում:

Ներածություն

Հեռազննման մեթոդների (ՀՄ) և աշխարհագրական տեղեկատվական համակարգերի (ՄՏՀ) շարունակական զարգացումը վերջիններս

դարձրել է գյուղատնտեսության ոլորտում տարբեր օբյեկտների և երևույթների տարածաժամանակային փոփոխությունների գնահատման կարևոր գործիքներ (Nascimento et al., 2021): Հեռազննման մեթոդներով՝ սպեկտրալ հայտանիշների հիման վրա, հնարավոր է տարբերակել առողջ բույսերը վնասված և սթրեսի ենթարկված բույսերից (Metternicht et al., 2010): Վերջինիս հիմքում բույսերում քլորոֆիլի պարունակությունն է, որը տարբեր գործոնների՝ ջրի և սննդանյութերի անբավարարության, հարուցիչների, ջերմային էքստրեմումների և այլնի նկատմամբ զգայուն կարևոր կենսաֆիզիկական ցուցանիշ է և ցուցիչ՝ բույսի ամբողջական ֆիզիոլոգիական վիճակի, առողջության, բերքի կանխատեսման և այլնի համար (Cabello-Pasini and Macías-Carranza, 2011; Elarab et al., 2015; Singhal et al., 2019): Վերջինիս փոփոխությունը արտահայտվում է էլեկտրամագնիսական սպեկտրի տարբեր տիրույթներում, մասնավորապես տեսանելի և մոտակա ինֆրակարմիր տիրույթներում անդրադարձման առանձնահատկություններով (Carter and Knapp, 2001; Singhal et al., 2019): Վերոնշյալը ցույց է տալիս, որ օդատիեզերական հեռազննումը ունի ներուժ գյուղատնտեսության մեջ, որպես մոնիթորինգի և կառավարման գործիք, մշակման և ներդրման համար:

Հայաստանում գյուղատնտեսական հողահադակների ուսումնասիրություններում օդատիեզերական հեռազննման մեթոդների կիրառման փորձերը շատ չեն: Այսպես, հետաքրքրական են, բնական կերահանդակների ուսումնասիրման գործում, 2011, 2012 և 2014 թվականներին Համաշխարհային բանկի աջակցությամբ իրականացված «Գյուղատնտեսական ռեսուրսների կառավարման և մրցունակության ծրագրի» (CARMAC CS-11/103) շրջանակում հեռազննումը որպես գործիք կիրառվել է միայն արբանյակային պատկերների վիզուալ վերծանման և տարածքների քարտեզագրման համար (Tepanosyan et al., 2017) : Հեռազննման համատեքստում, առաջին անգամ մեկ գյուղի օրինակով, Գ. Տեփանոսյանի կողմից իրականացվել է կերահանդակների դեգրադացիայի գնահատման մեթոդի մշակում և գնահատում՝ արբանյակային պատկերների սպեկտրալ վերծանմամբ (Տեփանոսյան, 2017): Այդուհանդերձ, բոլոր հետազոտական փորձերը ունեն վիճակագրական մեթոդներով, մեքենայական ուսուցման մոդելներով գիտական խորը վերլուծության և ստուգաչափման կարիք: Ի տարբերություն բնական կերահանդակների, ՀՀ-ում խաղողի այգիների հետազոտություններում օդատիեզերական հեռազննման տեխնոլոգիաների կիրառման փորձն ավելի քիչ է (Efendyan et al., 2021): Այդ առումով, ներկայացվող աշխատանքն առաջին փորձն է հասկանալու Հայաստանում խաղողի այգիների ուսումնասիրման գործում հեռազննման տեխնոլոգիաների կիրառման հնարավորությունները:

նը որոշելու համար օգտագործվում են բուսականության ինդեքսներ (Symeonakis and Drake, 2004): Ամենատարածված ինդեքսը Նորմալացված տարբերության բուսականության ինդեքսն է (ՆՏԲԻ/NDVI), որն ընդհանուր առմամբ, առողջ բուսականության հեռագնմամբ բացահայտման ստանդարտացված միջոց է (Wessels et al., 2004): NDVI-ը համեմատում է էլեկտրամագնիսական սպեկտրի կարմիր և մոտակա ինֆրակարմիր շրջանների անդրադարձման արժեքները և ստացվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1)$$

Որտեղ NIR-ը մոտակա ինֆրակարմիր տիրույթում սպեկտրալ անդրադարձման արժեքն է,

RED-ը կարմիր տիրույթում սպեկտրալ անդրադարձման արժեքը:

NDVI-ն օգտագործվում է բուսականության մոնիթորինգի և գնահատման համար, որի արժեքները տատանվում են -1 - 1 միջակայքում (աղ.1) (Symeonakis and Drake, 2004; Wessels et al., 2004):

Աղյուսակ 1.

Գյուղատնտեսական հեղահանդակների NDVI արժեքների դասակարգում

NDVI	ՆԿԱՐԱԳՐՈՒԹՅՈՒՆ
< 0,1	Մերկ հող
0,1-0,2	Բուսածածկը գրեթե բացակայում է
0,2-0,3	Շատ ցածր բուսածածկ
0,3-0,4	Ցածր բուսածածկ, ցածր կենսունակություն կամ շատ ցածր բուսածածկ, բարձր կենսունակություն
0,4-0,5	Միջինից ցածր բուսածածկ, ցածր կենսունակություն կամ ցածր բուսածածկ, բարձր կենսունակություն
0,5-0,6	Միջին բուսածածկ, ցածր կենսունակություն կամ միջինից ցածր բուսածածկ, բարձր կենսունակություն
0,6-0,7	Միջինից բարձր բուսածածկ, ցածր կենսունակություն կամ միջին բուսածածկ, բարձր կենսունակություն
0,7-0,8	Բարձր բուսածածկ, բարձր կենսունակություն
0,8-0,9	Շատ բարձր բուսածածկ, շատ բարձր կենսունակություն
0,9-1	Ամբողջական բուսածածկ, շատ բարձր կենսունակություն

Google Earth Engine հեռագնման տվյալների խորանարդում, Javascript ծրագրավորման լեզվի կոդերի ադապտացման միջոցով վերծանվել են նշված գյուղական բնակավայրերի արոտների և խոտհար-

քերի Landsat 5, 7, 8 արբանյակային սենսորներից 2000-2021 թթ-ի ապրիլ-հոկտեմբեր ժամանակահատվածի պատկերները, և որոշվել են NDVI արժեքները: Վերծանման գործընթացում ներառվել են 30%-ից ցածր ամպային ծածկույթով պատկերները: Բացի այդ, Google Earth Engine-ում ընտրվել են 2000, 2005, 2010, 2015 և 2021 թթ. պատկերները և դրանց վերծանման արդյունքում ArcGIS 10.6 ծրագրային միջավայրում կազմվել են նշված տարածքների NDVI քարտեզները: Վերջինիս նպատակն էր արձանագրել կերահանդակների վիճակը վերը նշված 5 տարիներին: Աշխատանքում առկա են սահմանափակումներ պայմանավորված 2005թ-ին Landsat 7-ի սենսորում անդրադարձիչի հավանական խափանումով, որի պատճառով որոշ լուսանկարներում առկա են թերություններ, որոնք կարող են ազդել վերծանման գործընթացի և դրա արդյունքի վիզուալիզացման վրա: Այնուհանդերձ այն չի ստիպում հրաժարվել լուսանկարներից, քանի որ կարող ենք կորցնել արժեքավոր տվյալներ:

Ընդհանուր առմամբ, վերծանման գործընթացը ներառել է 1087 արբանյակային պատկեր: Հատկանշական են 2005թ-ի Landsat 7-ի սենսորում անդրադարձիչի հավանական խափանման պատճառով որոշ լուսանկարներում առկա թերությունները, որոնք կարող են ազդել վերծանման գործընթացի և դրա արդյունքի վիզուալիզացման վրա: Այնուհանդերձ, այն չի ստիպել հետազոտական խմբին հրաժարվել պատկերներից, քանի որ այն կարող էր հանգեցնել արժեքավոր տվյալների կորստի:

Google Earth Engine-ում տվյալների վերծանման արդյունքները ստուգաչափելու համար, Jupyter ծրագրային միջավայրում, Python ծրագրավորման լեզվի համապատասխան կոդերով իրականացվել է Seasonal Mann-Kendall վիճակագրական թեստավորում (Mavromatis and Stathis, 2011; Shadmani et al., 2012): Mann Kendall Test-ի արդյունքները, բնութագրվում են հետևյալ նկարագրական պարամետրերով (Shourov, 2022)՝

Trend – Նկարագրում է թրենդի վիճակը (աճող, նվազող և բացակայող): Աճող կամ նվազող միտումը նկատվում է, երբ շարքի ρ արժեքը փոքր է նշանակալիության մակարդակից (α):

H – հիպոթեզը ճիշտ է, երբ թրենդ կա և սխալ՝ երբ բացակայում է: Ըստ 0-ական հիպոթեզի (H_0) թրենդը բացակայում է, իսկ ըստ այլընտրանքային (ալտերնատիվ) (H_A) հիպոթեզի՝ թրենդ գոյություն ունի (դրական կամ բացասական) (Buhairi, 2010):

P – նշանակալիության թեստի արժեք: Եթե $P \leq \alpha$ ($\alpha = 0.05$; 5% է հավանականությունը, որ H_0 -ի մերժումը սխալ կլինի), ապա H_0 վարկածը մերժված է՝ արդյունքը վիճակագրորեն նշանակալի է, հետևաբար

թրենդ գոյություն ունի, իսկ $P > \alpha$ հաստատվում է H_0 վարկածը (“Mann-Kendall Test,” n.d.):

Z – նորմավորված թեստային վիճակագրություն: Վիճակագրորեն նշանակալի թրենդների առկայությունը գնահատվում է Z արժեքի օգտագործմամբ: Դրական Z-ը ցույց է տալիս աճող միտումը, իսկ բացասական Z-ը՝ նվազողը. P-ի նշանակալիության մակարդակի բարձրացման կամ նվազեցման մոնոտոն թրենդի առկայությունը ստուգելու համար զրոյական վարկածը մերժվում է, եթե $|Z| > Z \times (1-\alpha/2)$ (Buhairi, 2010): 5% նշանակալիության մակարդակում միտում ունենալու զրոյական վարկածը մերժվում է, եթե $|Z| > 1,96$ (Z-ի կրիտիկական արժեքը P-ի 0,05 արժեքի դեպքում) (Gocic and Trajkovic, 2013):

Թեստավորման ընթացքում առաջադրվել է 0-ական հիպոթեզ՝ ըստ որի, *հետազոտվող գյուղական բնակավայրերի արտոններում և խոտհարքերում բուսազանգվածի վիճակի փոփոխություն չկա*: Seasonal Mann-Kendall թեստը միտված է ժխտելու կամ հաստատելու 0-ական հիպոթեզը, որով և ստուգաչափվել են NDVI քարտեզների շարքում ներկայացված էկոլոգիական վիճակի տարածաժամանակային փոփոխությունները:

Ըստ առաջադրված երկրորդ խնդրի՝ *խաղողի այգիներում տերևներում քլորոֆիլի պարունակության գնահատման գործում ԱԹՄ պատկերների ներուժի ուսումնասիրության* հետազոտության օբյեկտ է հանդիսանում «Տրինիտի կանյոն այգիներ»-ը: Օբյեկտը տեղակայված է ՀՀ Վայոց ձորի մարզում՝ տարածաշրջանում գինու արտադրության հնագույն (մոտ 6100 տարեկան) վայրերից մեկում՝ Արենի համայնքի Աղավնաձոր գյուղական բնակավայրում և զբաղեցնում է մոտավորապես 4,4հա տարածք (“ՏՐԻՆԻՏԻ ԿԱՆՅՈՆ ԱՅԳԻՆԵՐ,” 2014):

Դաշտային in situ չափումներ

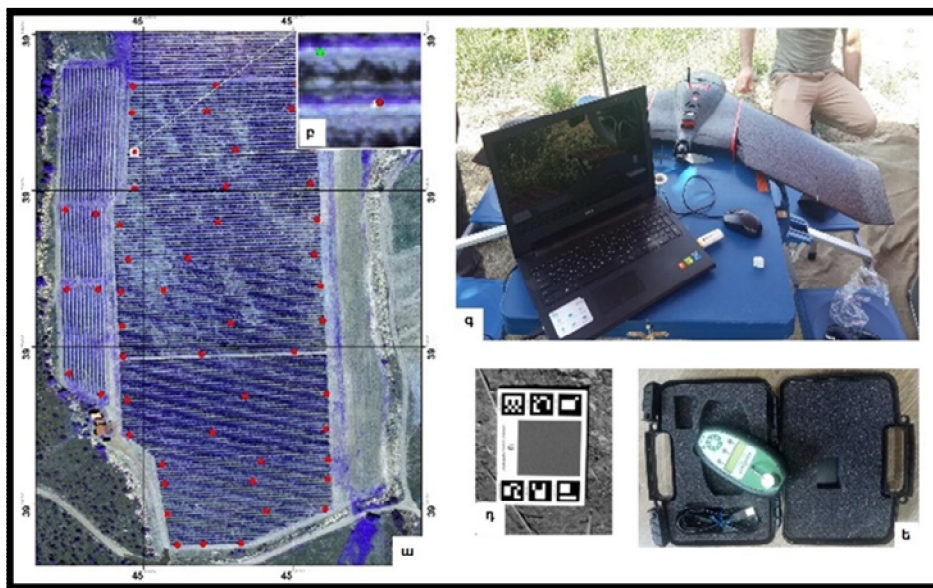
2019 թվականի սեպտեմբերի 19-ին շարժական MC-100 Chlorophyll Concentration Meter-ի օգտագործմամբ խաղողի տերևներում չափվել է քլորոֆիլի պարունակությունը, որն իրականացվել է ԱԹՄ նկարահանման հետ միաժամանակ: Ընդհանուր առմամբ, հետազոտական տարածքում կատարվել է 51 չափում, որոնցից յուրաքանչյուրը ներկայացնում է մեկ խաղողի վազից վերցված 5 ենթաչափումների միջին արժեք: Չափման կետերի կոորդինատները ստացվել են Garmin Oregon 650 GPS ընդունիչի միջոցով, որի ճշտությունը ± 3 մ է:

ԱԹՄ նկարահանում և պատկերների մշակում

ԱԹՄ նկարահանումն իրականացվել է Parrot Sequoia բազմասպեկտրալ սենսորով համալրված ֆիքսված թևերով senseFly eBee SQ ԱԹՄ-ով: Հետազոտվող տարածքի համար ստացվել են գերբարձր լուծաչափի բազմասպեկտրալ (կանաչ - 550նմ, կարմիր – 660նմ, կարմիր եզրային (red edge) – 735նմ, մոտակա ինֆրակարմիր – 790նմ), ինչպես նաև

RGB պատկերներ՝ 3.5սմ տարածական լուծաչափով, որոնք ենթարկվել են նախնական մշակման Agisoft Metashape Professional ծրագրային միջավայրում՝ ռադիոմետրիկ, տեղագրական ուղղումների իրականացմամբ: Այնուհետև հաշվարկվել են Նորմավորված տարբերությունների բուսականության ինդեքսը (1) և Նորմավորված Տարբերությունների Red Edge ինդեքսը (NDRE) (2)

$$NDRE = \frac{NIR - Red\ Edge}{NIR + Red\ Edge} \quad (2)$$



Նկ. 2. ԱԹՄ նկարահանումը Տրինիտի խաղողի այգիների տարածքում՝ ա) ԱԹՄ նկարահանված տարածքը և խաղողի վազերի տերևներում քլորոֆիլի չափման կետերի բաշխումը, բ) քլորոֆիլի չափման կետ, գ) senseFly eBee SQ ԱԹՄ, դ) ԱԹՄ տրամաչափարկման վահանակ, ե) Քլորոֆիլի չափման գործիք՝ շարժական MC-100 Chlorophyll Concentration Meter

Դաշտային չափումների ժամանակ, յուրաքանչյուր կետի համար 3x3 պիքսել մակերեսով հատվածի մաքուր պիքսելներից հանվել են սպեկտրալ անդրադարձման, NDVI, NDRE միջին արժեքները՝ հետագա վիճակագրական վերլուծության աշխատանքներում օգտագործելու համար:

Վիճակագրական վերլուծություն

Քլորոֆիլի չափված արժեքների շարքում հնարավոր եզրային կետերը (outliers) որոշելու համար օգտագործվել է տուփ-դիագրամ (box-

plot) մոտեցումը: Խաղողի տերևում in-situ չափված և ԱԹՄ հեռազնված քլորոֆիլի պարունակությունների միջև կապի ուսումնասիրության նպատակով կիրառվել է Պիրսոնի կոռելյացիոն վերլուծության մեթոդը: Վիճակագրական բոլոր վերլուծությունները կատարվել են Python ծրագրավորման լեզվի կիրառմամբ: ԱԹՄ տվյալների միջոցով, խաղողի տերևներում քլորոֆիլի պարունակության մոդելավորման համար օգտագործվել է մեքենայական ուսուցման մեթոդներից Մասնակի նվազագույն քառակուսիների ռեգրեսիոն մեթոդը (PLSR), որի համար կիրառվել է Python-ի “scikit-learn” ազատ հասանելի գրադարանը (Pedregosa et al., 2011): PLSR մոդելի համար ներմուծվող տվյալների բազան պատահականորեն բաժանվել է վարժեցման (80%) և թեստավորման (20%) բազմությունների: Վարժեցման բազմությունը օգտագործվել է մոդելի ստուգաչափման և Leave-One-Out խաչաձև վավերացման միջոցով PLSR-ի բաղադրիչների օպտիմալ քանակի որոշման համար, իսկ թեստավորման բազմությունը՝ չօգտագործված տվյալներով մոդելի վերջնական վավերացման համար: Մոդելի գնահատման նպատակով հաշվարկվել են Արմատ միջին քառակուսային շեղումը (RMSE), և դետերմինացիայի գործակիցը (R^2)՝ թեստավորման բազմության և խաչաձև վավերացման համար:

Արդյունքների քննարկում

Բնական կերտահանդակների էկոլոգիական վիճակի տարածաժամանակային փոփոխության գնահատում ըստ NDVI ինդեքսի

NDVI սպեկտրալ ինդեքսներով քարտեզների վերծանման արդյունքում ստացվում է հետևյալը՝ Միսիանի շրջանի գյուղական բնակավայրերի կլաստերում 2000, 2005 և 2021 թթ-ին դիտվում է բուսականության ավելի վատ վիճակ ($< 0,4$), քան 2010 և 2015 թվականներին ($< 0,7$) (նկ.4): 2000-2021թթ. ժամանակային շարքի վերծանված պատկերների վիճակագրական ստուգաչափումը Seasonal Mann-Kendall թեստի արդյունքում ցույց է տալիս, որ Միսիանի շրջանի Ծղուկ, Մառնակունք և Սպանդարյան գյուղական բնակավայրերի ոչ արոտներում և ոչ խոտհարքերում թրենդ չկա: Օ-ական հիպոթեզը, առ այն, որ հետազոտվող գյուղական բնակավայրերի արոտներում և խոտհարքերում 2000-2021թթ. ժամանակահատվածում բուսազանգվածի վիճակի փոփոխություն չկա՝ հաստատվում է՝ պայմանավորված P-ի ($P > \alpha$) և Z-ի ($|Z| < 1,96$) արժեքներով (աղ.2): Ստացվում է, որ համաձայն արբանյակային պատկերների, 22 տարվա ընթացքում հետազոտվող տարածքում բուսականության վիճակի փոփոխություն չի դիտվել:

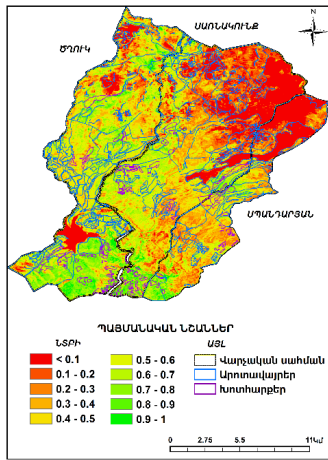
Աղյուսակ 2.

Սեզոնային Մանն-Կենդալլ թեստի արդյունքները Գորիսի շրջանի ընտրված գյուղական բնակավայրերի արոտների և խոտհարքերի համար

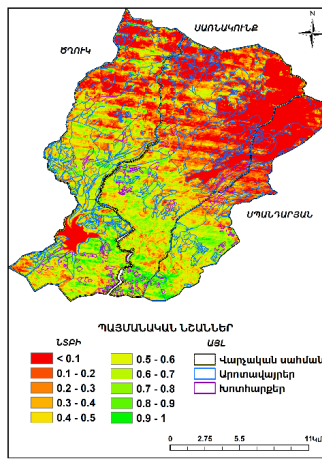
		<i>Trend</i>	<i>H</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>α</i>
Ծղուկ	<i>արոտ</i>	Չկա	Միավ է	0,238	1,179	0,05
	<i>խոտհարք</i>	Չկա	Միավ է	0,392	0,854	0,05
Սառնակունք	<i>արոտ</i>	Չկա	Միավ է	0,206	1,262	0,05
	<i>խոտհարք</i>	Չկա	Միավ է	0,193	1,300	0,05
Սպանդարյան	<i>արոտ</i>	Չկա	Միավ է	0,131	1,507	0,05
	<i>խոտհարք</i>	Չկա	Միավ է	0,057	1,897	0,05

Գորիսի շրջանի գյուղական բնակավայրերի կլաստերում արոտավայրերի և խոտհարքերի դեպքում, ըստ պատկերների վերծանման, 2000 և 2021 թվականներին դիտվում է բուսականության ավելի վատ վիճակ ($< 0,4$), քան 2005, 2010 և 2015 թվականներին ($< 0,8$): Սակայն 22 տարվա համար իրականացված Seasonal Mann-Kendall թեստի արդյունքները ցույց են տալիս հետևյալ պատկերը՝ Վադատուր և Խոզնավար գյուղական բնակավայրերի և՛ արոտներում, և՛ խոտհարքերում, իսկ Խնածախ գյուղի միայն արոտներում թրենդ չկա, պայմանավորված P-ի և Z-ի արժեքներով: Տաթև, Հարժիս, Ակներ, Վերիշեն, Խնձորեսկ գյուղերի և՛ արոտներում, և՛ խոտհարքերում, և Խնածախ գյուղի միայն խոտհարքերում դիտվում է NDVI արժեքների աճող թրենդ, համաձայն որի՝ 0-ական հիպոթեզը ժխտվում է, քանի որ $P < \alpha$ և $|Z| > 1,96$:

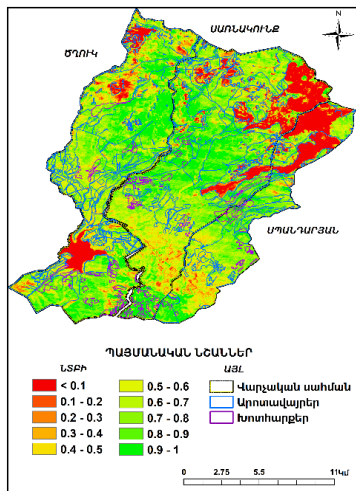
Հատկանշական է, որ Z-ի արժեքները դրական են, ինչն էլ վկայում է 22 տարվա ժամանակային շարքում բուսականության լավ վիճակի մասին:



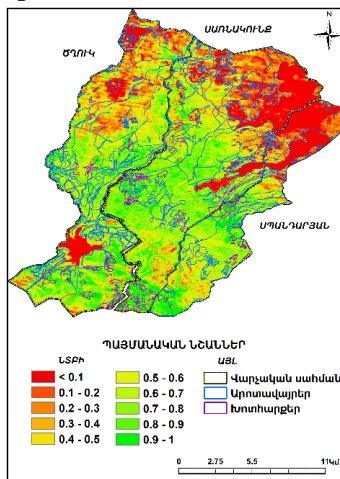
ա)



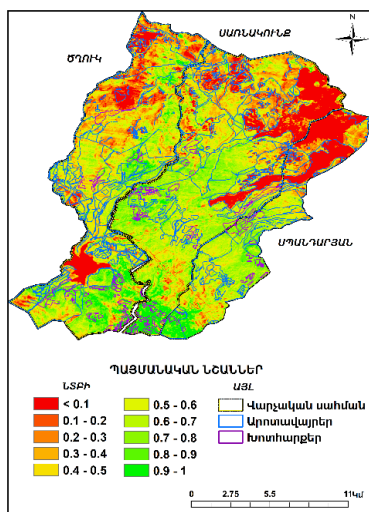
բ)



գ)



դ)



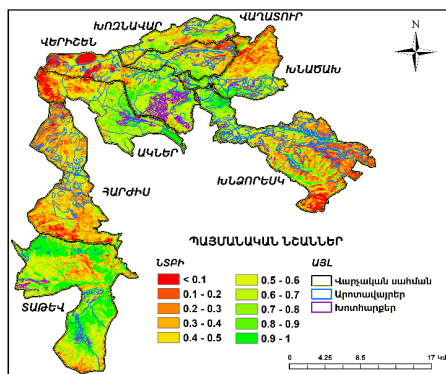
ե)

Նկ. 3. Միսիանի շրջանի Ծղուկ, Սպանդարյան և Սառնակունք գյուղական բնակավայրերի արտոնների և խոտհարքերի բուսականության վիճակն ըստ նշված տարիների՝ ա) 2000, բ) 2005, գ) 2010, դ) 2015, ե) 2021

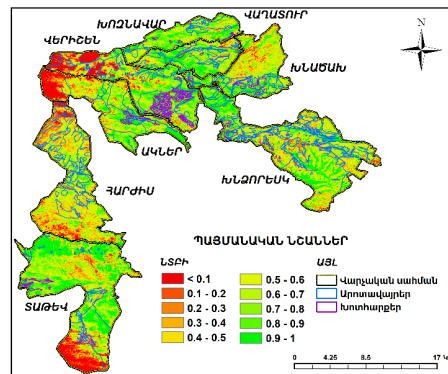
Աղյուսակ 3

Սեզոնային Մանն-Կենդալլ թեստի արդյունքները Գորիսի շրջանի ընտրված գյուղական բնակավայրերի արոտների և խոտհարքերի համար

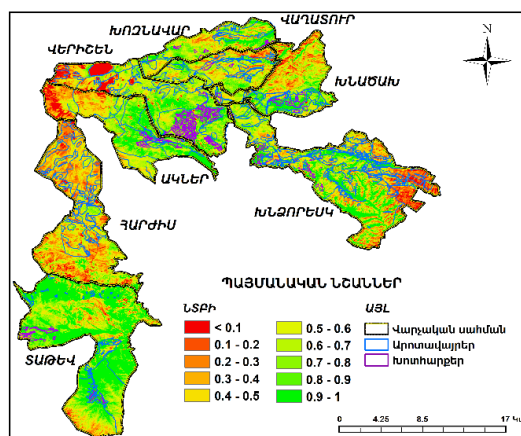
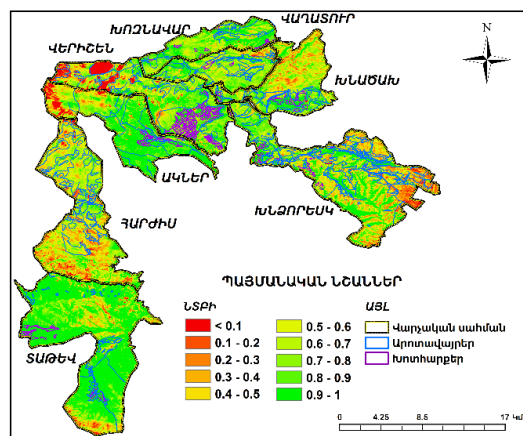
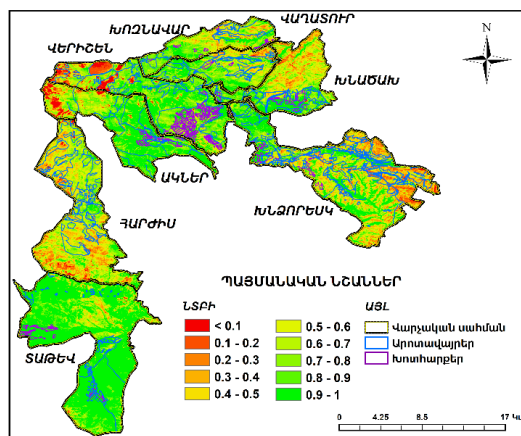
		<i>Trend</i>	<i>H</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>α</i>
Տաթև	արոտ	Աճող	Ճիշտ է	0,024	2,244	0,05
	խոտհարք	Աճող	Ճիշտ է	0,002	3,060	0,05
Հաքժիս	արոտ	Աճող	Ճիշտ է	0,014	2,451	0,05
Ակներ	արոտ	Աճող	Ճիշտ է	0,006	2,739	0,05
	խոտհարք	Աճող	Ճիշտ է	0,0002	3,635	0,05
Վերիշեն	արոտ	Աճող	Ճիշտ է	0,037	2,082	0,05
	խոտհարք	Աճող	Ճիշտ է	0,010	2,549	0,05
Վաղատուր	արոտ	Չկա	Միսալ է	0,130	1,512	0,05
	խոտհարք	Չկա	Միսալ է	0,138	1,483	0,05
Խնածախ	արոտ	Չկա	Միսալ է	0,154	1,422	0,05
	խոտհարք	Աճող	Ճիշտ է	0,002	3,035	0,05
Խոզնավար	արոտ	Չկա	Միսալ է	0,072	1,794	0,05
	խոտհարք	Չկա	Միսալ է	0,080	1,745	0,05
Խնձորեսկ	արոտ	Աճող	Ճիշտ է	0,002	2,968	0,05
	խոտհարք	Աճող	Ճիշտ է	0,001	3,210	0,05



ա)



բ)



Նկ. 4. Գործիսի շրջանի Տաթև, Հարժիս, Ակներ, Վերիշեն, Խոզնավար, Վաղատուր, Խնածախ, Խնձորեսկ գյուղական բնակավայրերի արոտների և խոտհարքերի բուսականության վիճակն ըստ նշված տարիների՝ ա) 2000, բ) 2005, գ) 2010, դ) 2015, ե) 2021

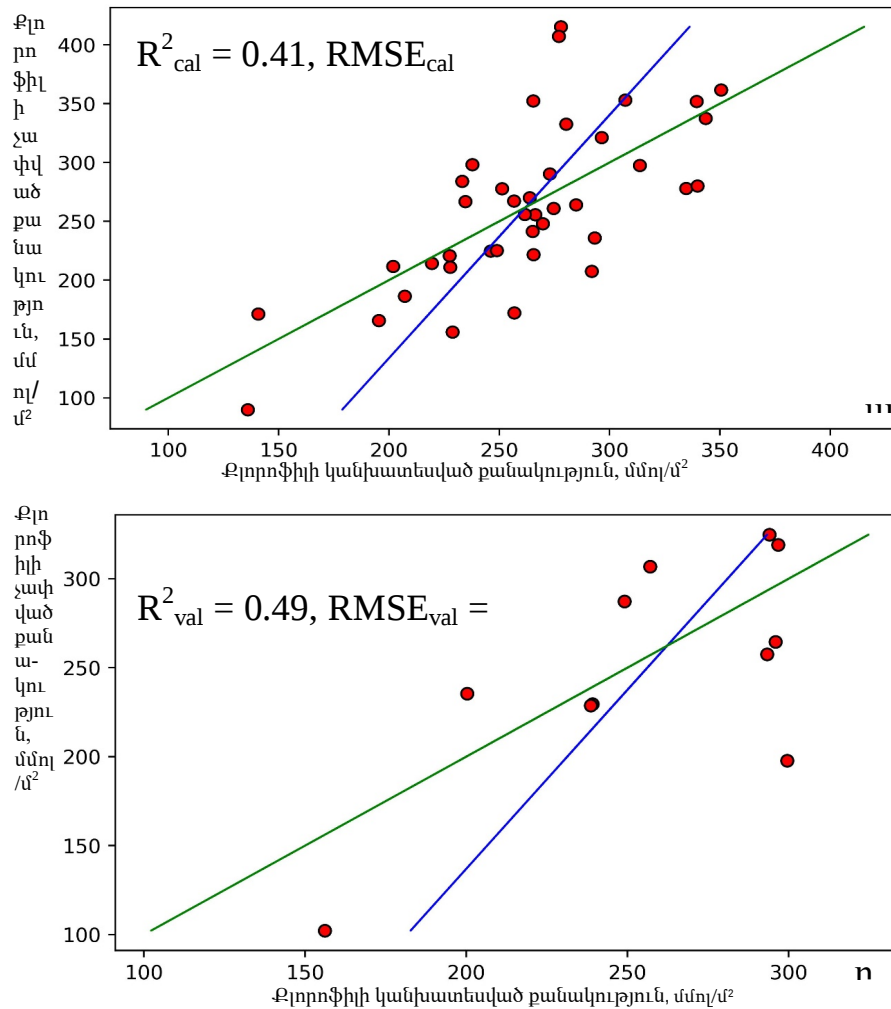
Խաղողի տերևում քլորոֆիլի պարունակության գնահատում

ԱԹՍ պատկերներից ստացված *վեգետացիոն ինդեքսների և in-situ* չափումներից ստացված տվյալների միջև կոռելյացիոն վերլուծության արդյունքում արձանագրվել է նշանակալի դրական կոռելյացիա՝ խաղողի տերևներում քլորոֆիլի պարունակության և NDVI ($r=0.67$), այնուհետև NDRE ($r=0.57$) ինդեքսների միջև ($p < 0.01$ նշանակալիության գործակցով): NDVI և NDRE-ի համար նմանատիպ արդյունք, մի փոքր ավելի ցածր կոռելյացիոն գործակցով ($r \approx 0.5$), արձանագրվել է (Kopačková-Strnadová et al., 2021)-ի կողմից, որտեղ Parrot Sequoia բազմասպեկտրալ սենսորի միջոցով ստացված ԱԹՍ պատկերները օգտագործվել են եղևնու մոնոկուլտուրաներում քլորոֆիլի պարունակության գնահատման համար: Բացասական նշանակալի կոռելյացիա ($r=0.46$) է դիտվել քլորոֆիլի պարունակության և էլեկտրամագնիսական սպեկտրի կարմիր տիրույթում ստացված արժեքների միջև, ինչը սպասելի էր, քանի որ քլորոֆիլը կլանում է լույսը կարմիր տիրույթում: Ընդ որում, Parrot Sequoia բազմասպեկտրալ սենսորը գրանցում է կարմիր տիրույթի 660նմ երկարությամբ ալիքները, ինչը մոտ է քլորոֆիլի պարունակության գնահատման նախորդ հետազոտությունների ընթացքում օգտագործված սպեկտրալ տիրույթներին (680-690նմ) (Singhal et al., 2019): Նշանակալի կոռելյացիա չի հայտնաբերվել քլորոֆիլի պարունակության և էլեկտրամագնիսական սպեկտրի կանաչ ($r=0.04$), եզրային կարմիր (red edge) ($r=-0.12$) ու մոտակա ինֆրակարմիր ($r=0.11$) տիրույթների միջև: Սակայն, ավելի վաղ կատարված հետազոտությունները ցույց էին տվել նշանակալի կոռելյացիա եզրային կարմիր (red edge) տիրույթում լույսի անդրադարձման և տերևում քլորոֆիլի պարունակության արժեքների միջև (Carter and Knapp, 2001; Elarab et al., 2015):

Խաղողի տերևում քլորոֆիլի պարունակության գնահատման ուղղությամբ LOO խաչաձև վավերացման ամենացածր Արմատ միջին քառակուսային շեղման (RMSE) արժեքի համաձայն, PLSR-ի 5 բաղադրիչներից (փոփոխականներից) օպտիմալ քանակ է ընտրվել 2-ը: Ինչպես երևում է նկար 5-ից, մեքենայական ուսուցման PLSR մոդելը գոհացուցիչ արդյունքներ է տալիս թե՛ ստուգաչափման ($R^2_{cal} = 0.41$, $RMSE_{cal} = 52.80$), թե՛ վավերացման ($R^2_{val} = 0.49$, $RMSE_{val} = 43.68$) համար:

Արդյունքները միանգամայն լավատեսական են և կարող են բարելավվել նմուշառման կետերի ավելացմամբ ու մեքենայական ուսուցման առավել բարդ մոդելների կիրառմամբ, (Kernel-Ridge ռեգրեսիոն, Պատահական Անտառ (Random Forest), Subtractive clustering և այլ), որոնք արդեն հաջող կերպով կիրառվել են ԱԹՍ բազմասպեկտրալ

պատկերների միջոցով բուսականության մեջ քլորոֆիլի պարունակությունը գնատահելու համար (Singhal et al., 2019; Vanbrabant et al., 2019):



Նկ. 5. Քլորոֆիլի կանխատեսված և չափված քանակների ցրվածության դիագրամը (scatter plot) PLSR մոդելի ա) ստուգաչափման տվյալների բ) վավերացման տվյալների դեպքում

Եզրակացություններ

➤ Գորիսի և Մխիանի շրջանների հետազոտված գյուղական բնակավայրերի կլաստերներում կենսազանգվածի վիճակի վատթարացում չի դիտվել, սակայն լավացում այդուհանդերձ դիտվել է միայն Գորիսի շրջանում՝ համաձայն Seasonal Mann-Kendall վիճակագրական թեստավորման:

➤ Սպեկտրալ անդրադարձման արժեքների շարքում կարմիր տիրույթում անդրադարձված արժեքները ամենազգայունն են քլորոֆիլի փոփոխությունների նկատմամբ: Նշանակալի դրական կոռելյացիա է դիտվում նաև տերևներում քլորոֆիլի պարունակության և NDVI, NDRE արժեքների միջև:

➤ Մեքենայական ուսուցման PLSR մոդելի արդյունքների համաձայն, բազմասպեկտրալ ԱԹՄ պատկերները մեծ ներուժ ունեն խաղողի տերևներում քլորոֆիլի քանակական գնահատման և հետևապես այգիների վիճակի մշտադիտարկման իրականացման համար: Այդուհանդերձ, քլորոֆիլի սեզոնային վարքագծի սպեկտրալ անդրադարձման առանձնահատկությունների բացահայտման համար արդյունքները պետք է բարելավվեն ըստ վեգետացիոն սեզոնների՝ դաշտային insitu տվյալների քանակի և ԱԹՄ պատկերների ավելացմամբ, և մեքենայական ուսուցման այլ մոդելների կիրառմամբ:

➤ Իրականացված հետազոտությունները թեև հատվածական են, բայց թույլ են տալիս եզրակացնել, որ օդատիեզերական հեռազննումն ունի ներուժ ՀՀ-ում գյուղատնտեսական հողահանդակների տարբեր էկոլոգիական խնդիրների բացահայտման և տարածաժամանակային փոփոխությունների գնահատման գործում:

Աշխատանքն իրականացվել է ՀՀ ԿԳՄՄՆ ԲԿԳԿ-ի ֆինանսական աջակցությամբ՝ 22AA-1E021 ծածկագրով գիտական թեմայի շրջանակում, բազային ֆինանսավորմամբ և ՀՀ ԳԱԱ ֆինանսական աջակցությամբ՝ «Երիտասարդ գիտնականների աջակցության ծրագրի» շրջանակներում, ծածկագիր՝ 23YSSPS-13:

Գրականություն

Տեփանոսյան Գ. Հ. 2017 ՀԵՌԱԶՆԵՄԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐՈՎ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՈՐՈՇ ԱՐՈՏԱՎԱՅՐԵՐԻ ԴԵԳՐԱԴԱՑԻԱՅԻ ԱՍՏԻՃԱՆԻ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ ԵՎ ԴՐԱՆՅ ՎԵՐԱԿԱՆԳՆՄԱՆ ԿԵՆՍԱՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԵՂԱՆԱԿԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ, Կենս.գիտ. թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության սեղմագիր, Երևան, ՀՀ ԳԱԱ ՀԱՅԿԵՆՍԱՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱ ԳԱՀ ՊՈԱԿ, 22

ՏՐԻՆԻՏԻ ԿԱՆՈՆ ԱՅԳԻՆԵՐ [WWW Document], 2014. URL [http://trinitycv.com/\(accessed 15.11.2024\)](http://trinitycv.com/(accessed 15.11.2024))

Buhairi, M.H. Al 2010. Analysis of Monthly, Seasonal and Annual Air Temperature Variability and Trends in Taiz City - Republic of Yemen. Journal of Environmental Protection, 01, 401–409. <https://doi.org/10.4236/jep.2010.14046>

- Cabello-Pasini, A., Macías-Carranza, V.** 2011. Optical properties of grapevine leaves: reflectance, transmittance, absorptance and chlorophyll concentration. *Agrociencia*.
- Carter, G.A., Knapp, A.K.** 2001. Leaf optical properties in higher plants: linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. *American Journal of Botany*, 88, p. 677–684. <https://doi.org/10.2307/2657068>
- Efendyan, P.S., Hovhannisyan, T.A., Hakobyan, T.M.** 2021. Determination of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) by Applying Disco-Pro AG Drones in Vineyards. *AgriScience and Technology*, 2, p. 123-126.
- Elarab, M., Ticlavilca, A.M., Torres-Rua, A.F., Maslova, I., McKee, M.** 2015. Estimating chlorophyll with thermal and broadband multispectral high resolution imagery from an unmanned aerial system using relevance vector machines for precision agriculture. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 43, p. 32–42. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.03.017>
- Gocic, M., Trajkovic, S.** 2013. Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. *Global and Planetary Change*, 100, p. 172–182. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.10.014>
- Kopačková-Strnadová, V., Koucká, L., Jelének, J., Lhotáková, Z., Oulehle, F.** 2021. Canopy Top, Height and Photosynthetic Pigment Estimation Using Parrot Sequoia Multispectral Imagery and the Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *Remote Sensing*, 13, p. 705. <https://doi.org/10.3390/rs13040705>
- Mann-Kendall Test** [WWW Document], n.d. StatsTest.com. URL <https://www.statstest.com/kendalls-tau/>
- Mavromatis, T., Stathis, D.** 2011. Response of the water balance in Greece to temperature and precipitation trends. *Theoretical and Applied Climatology*, 104, p. 13–24. <https://doi.org/10.1007/s00704-010-0320-9>
- Metternicht, G., Zinck, J.A., Blanco, P.D., del Valle, H.F.** 2010. Remote Sensing of Land Degradation: Experiences from Latin America and the Caribbean. *Journal of Environmental Quality*, 39, p. 42–61. <https://doi.org/10.2134/jeq2009.0127>
- Nascimento, C.M., de Sousa Mendes, W., Quiñonez Silvero, N.E., Poppiel, R.R., Sayão, V.M., Dotto, A.C., Valadares dos Santos, N., Accorsi Amorim, M.T., Demattê, J.A.M.** 2021. Soil degradation index developed by multitemporal remote sensing images, climate variables, terrain and soil attributes. *Journal of Environmental Management*, 277. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111316>
- Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V., Vanderplas, J., Passos, A., Cournapeau, D.** 2011. Scikit-learn: machine learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12, p. 2825–2830.
- Shadmani, M., Marofi, S., Roknian, M.** 2012. Trend Analysis in Reference Evapotranspiration Using Mann-Kendall and Spearman's Rho Tests in Arid Regions of Iran. *Water Resources Management*, 26, p. 211–224. <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9913-z>

- Shourov, Md.M.H. 2022. What is the Mann-Kendall Test ? [WWW Document]. GitHub. URL <https://github.com/mmhs013/pyMannKendall/tree/c2be737a199a694e481d98677e0e2c2c5d21b89d#function-details>
- Singhal, G., Bansod, B., Mathew, L., Goswami, J., Choudhury, B.U., Raju, P.L.N.** 2019. Chlorophyll estimation using multi-spectral unmanned aerial system based on machine learning techniques. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 15, 100235. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100235>
- Symeonakis, E., Drake, N.** 2004. Monitoring desertification and land degradation over sub-saharan africa. *International Journal of Remote Sensing* 25, p. 573–592. <https://doi.org/10.1080/0143116031000095998>
- Tepanosyan, G.H., Asmaryan, Sh.G., Muradyan, V.S., Saghatelyan, A.K.** 2017. Mapping man-induced soil degradation in Armenia's high mountain pastures through remote sensing methods: A case study. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 8, p. 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2017.08.006>
- Vanbrabant, Y., Tits, L., Delalieux, S., Pauly, K., Verjans, W., Somers, B.** 2019. Multitemporal chlorophyll mapping in pome fruit orchards from remotely piloted aircraft systems. *Remote Sensing*, 11. <https://doi.org/10.3390/rs11121468>
- Wessels, K.J., Prince, S.D., Frost, P.E., Van Zyl, D.** 2004. Assessing the effects of human-induced land degradation in the former homelands of northern South Africa with a 1 km AVHRR NDVI time-series. *Remote Sensing of Environment*, 91, p. 47–67. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.02.005>

ПРИМЕНЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НЕКОТОРЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬНЫХ УГОДИЙ РА

**Айвазян Григор, Хлгатян Анаит, Мурадян Ваагн,
Асмарян Шушаник**

Резюме

Применение аэрокосмических методов дистанционного зондирования в области сельского хозяйства постоянно развивается. В особенности это относится к оценке пространственно-временных изменений экологического состояния сельскохозяйственных земель (пастбища, пашня, садовые участки и т.д.), становясь обязательной частью систем мониторинга.

Потенциал технологий дистанционного зондирования для оценки экологического состояния различных сельскохозяйственных земель был исследован на примере двух типов угодий: естественных пастбищ и виноградников.

На основе снимков, полученных на основе Landsat-5, 7, 8 по данным 2000–2021 гг., были рассчитаны значения NDVI (нормализованный разностный вегетационный индекс), анализ и валидация пространственно-временных изменений, которые были проведены с помощью статистического теста Манна-Кендалла. Полученные результаты показывают, что на исследованных естественных пастбищах ухудшения состояния не наблюдаются.

На участках с виноградом были проведены измерения содержания хлорофилла в листьях и мультиспектральная съемка участка беспилотным летательным аппаратом. Результаты рассчитанных индексов и измерений хлорофилла были сопоставлены, используя корреляционный анализ и метод машинного обучения частично наименьших квадратов, который показал удовлетворительные результаты для прогнозирования содержания хлорофилла в листьях винограда ($R^2_{val} = 0.49$, $RMSE_{val} = 43.68$):

Полученные результаты свидетельствуют о потенциале технологий аэрокосмического мониторинга в вопросе выявления различных экологических проблем сельскохозяйственных угодий и оценки пространственно-временных изменений. Этим обосновывается необходимость продолжения исследований по усовершенствованию разработанных методов.

APPLICATION OF REMOTE SENSING FOR ASSESSING SPATIAL AND TEMPORAL CHANGES OF THE ECOLOGICAL STATE OF SOME AGRICULTURAL LANDS IN RA

**Ayvazyan Grigor, Khlgatyan Anahit, Muradyan Vahagn,
Asmaryan Shushanik**

Abstract

The application of remote sensing methods in the field of agriculture is constantly developing. This is especially true for the assessment of spatial and temporal changes in the ecological state of agricultural lands (pastures, arable land, garden plots, etc.), becoming an obligatory part of monitoring systems.

The potential of remote sensing technologies for assessing the ecological state of different agricultural lands was investigated on the example of two types of lands: natural pastures and vineyards.

NDVI (normalized difference vegetation index) values were calculated on the basis of Landsat-5, 7, 8 images from 2000–2021 data, analysis and

validation of spatial and temporal changes of which were carried out using the Mann-Kendall statistical test. The results obtained show that no deterioration is observed in the studied natural pastures.

In the plots with grapes, measurements of chlorophyll content in leaves and multispectral imaging of the plot by an unmanned aerial vehicle were carried out. The results of the calculated indices and chlorophyll measurements were compared using correlation analysis and partial least squares machine learning method, which showed satisfactory results for predicting chlorophyll content in grape leaves ($R^2_{val} = 0.49$, $RMSE_{val} = 43.68$).

The results obtained show the potential of aerospace monitoring technologies in identifying various ecological problems of agricultural lands and assessing spatial and temporal changes. This justifies the need to continue research to improve the developed methods.

ИСТОРИЯ

DOI: 10.54503/0515-961X-2024.77.3-57

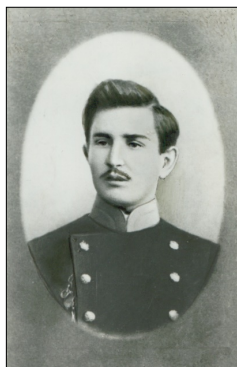
155 ЛЕТ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ЛЕОНИДА АФАНАСЬЕВИЧА СПЕНДИАРОВА

Григорян Г.Р., Бадалян М.Б., Хомизури Г.П., Погосян Н. Ю.,
Хачатрян А. А.

*Институт геологических наук НАН РА, 375019, Ереван,
Пр. Маршала Баграмяна 24а, Республика Армения
e-mail: gayane347gmail.com
Поступила в редакцию 28.11.24*

Целью статьи было вновь вкратце изложить биографию Л.А. Спендиарова и показать значение премии его имени, вручаемой лучшим геологам мира каждые 4 года на Международных геологических конгрессах. История этой награды подробно изложена впервые, кому она вручалась с 2008 года, неизвестно, но мы очень надеемся, что она будет восстановлена вновь на следующем международном конгрессе в 2028.

Спендиаров... Кто это? Если вы спросите любого армянина, то он сразу же ответит: “О, это выдающийся композитор! Кстати, у него был брат, который чем-то прославился в геологии”. Если же вы спросите любого геолога (хоть французского, хоть китайского), то он сразу же ответит: “О, это известный геолог! Кстати, у него был брат, неплохой композитор”. Так кто же этот Спендиаров? Рассказывать армянам, кто такой Александр Спендиаров, неуместно. Наш рассказ пойдет о его старшем брате – Леониде Афанасьевиче Спендиарове, действительно известном геологе. Армения дала миру геологов, которые внесли больший вклад в науку, чем Леонид Спендиаров. Это и Андреас Арцруни, избранный членом-корреспондентом Императорской Санкт-Петербургской академии наук, и Иван Георгиевич Магакян, и Левон Арсенович Варданянц, и Ашот Тигранович Асланян и другие. Но их имена известны лишь узкому кругу специалистов данной отрасли геологического знания. Имя же Леонида Спендиарова известно всем геологам – премия его имени является самой престижной премией для всех геологов мира.



**Леонид
Спендиаров**

Леонид Афанасьевич Спендиаров родился в 1869 г. в Каховке (Крым) в семье Афанасия Авксентьевича Спендиарова и его жены Натальи Карповны, урожденной Селиновой. Наталья Карповна была необыкновенно музыкальна и вероятно под ее влиянием Леонид в детские и юношеские годы был увлечен музыкой, и все были уверены в том, что именно с ней он свяжет свою жизнь. В 1887 г. семья переехала в Симферополь и первоначальное образование Леонид получил в Симферопольской гимназии, которую окончил в 1889 г.

Осенью того же года он поступил на отделение естественных наук физико-математического факультета Московского университета. Но, обладая красивым голосом и мечтая о певческой карьере, он поступил на вокальное отделение Московской консерватории. “Между лекциями есть много свободных часов, – писал он домой, – и, воспользовавшись этим, я поступил в консерваторию”.



**Дом, в котором в Симферополе провел юность Л. Спендиаров
(ул. Севастопольская д.19)**

По субботам он играл на виолончели в студенческом оркестре. В ноябре он участвовал в концерте в честь пятидесятилетия творческой деятельности Антона Рубинштейна, а в декабре выступал в опере “Фераморе” “в роли какого-то князя”, как сообщил он в письме к отцу. В следующем, 1890 г., по примеру Леонида, на то же отделение поступил его младший брат Александр. Теперь братья выступали на концертах вдвоем. В конце года в зале Военного собрания Леонид исполнил Арию из оперы П. Масканьи “Сельская честь”, а Александр на скрипке – “Берсез” А. Симона. А вскоре в зале консерватории Леонид под аккомпанемент брата исполнил несколько романсов и на бис – “Очарован твоею красой”.

Александр, полностью поглощенный музыкой (не говоря уже о занятиях в Университете), не обременял себя заботами о жизни. Вся их тяжесть легла на Леонида: “Всегда деятельно и терпеливо, – писала позднее его племянница, дочь Александра Марина, – он следил за Сашиним питанием, оберегал его от простуды”. Отец присылал сыновьям приличную сумму, но, делясь с товарищами, Леонид с трудом сводил концы с концами.

В первые же годы пребывания в Москве братья познакомились с профессором права на юридическом факультете Университета Нерсесом Осиповичем Нерсесовым, а, бывая у него дома, – с другими представителями армянской колонии в Москве. От них они много узнали о своей исторической Родине, ее древней культуре, о трагических страницах жизни их народа. Они стали изучать армянский язык, читать армянские газеты. “Теперь мы с Сашей такие армяне, что держись” – писал Леонид отцу.

Леонид унаследовал от матери острое чувство справедливости и сопричастности к чужому горю. Однажды летом, неподалеку от дома Нерсесовых загорелась деревня. Прибежав на место пожарища с товарищами, Александр увидел, что его брат, весь покрытый сажей и осыпанный пеплом, уже вытаскивал из огня вещи погорельцев. Леонид презирал опасность. На студенческих вечеринках он весело пел запрещенные песни. Он не был членом какой-либо партии, но всегда принимал активное участие во всех акциях протеста, и во время одной из них, в феврале 1892 г., был арестован и посажен в Бутырку. Вскоре он был освобожден, но подобная вольность не сошла ему с рук – он был тут же исключен из Университета. “Мысль о том, что двери Университета закроются для меня навсегда, – писал он домой, – бросала меня в жар, и я не допускал такой несправедливости со стороны судьбы”. Юноша не пал духом, уехал в Дерпт (ныне – Тарту) и поступил в Дерптский университет, славившийся прекрасной профессурой и отличной постановкой учебной и научной работы.

В 1894 г. Л. А. Спендиаров блестяще, с золотой медалью и званием кандидата сельскохозяйственных наук, окончил Университет. Во время обучения он увлекся минералогией и достиг таких успехов, что, по рекомендации выдающегося российского геолога Франца Юльевича Левинсона-Лессинга, был оставлен в Университете для научных исследований в этой области знания. В том же 1894 г. Л. А. Спендиаров принял участие в работе высшего форума геологов – Международном Геологическом Конгрессе в Цюрихе. Здесь он познакомился с главой русских геологов Александром Петровичем Карпинским, впоследствии первым выборным президентом Российской Академии наук (до этого президент назначался волей Императора). Затем он неоднократно навещал Карпинского в Санкт-Петербурге. С семьей Карпинского его связывали не только научные интересы, но и любовь к музыке – он часто бывал в семье известного ученого и пел на музыкальных вечерах.

Проживая вдали от исторической Родины, Л. А. Спендиаров свои геологические исследования посвятил изучению вулканических пород Арагаца, Котайского и Приереванского районов. Его первая научная работа была выполнена настолько блестяще, что в 1895 г. Ученый совет Дерптского университета присудил ему вторую ученую степень – кандидата минералогических наук. Материалы этой работы были использованы Ф. Ю. Левинсоном-Лессингом в его труде “Армянское вулканическое нагорье”. “При составлении этого очерка, – писал Левинсон-Лессинг – я пользовался, кроме моих собственных наблюдений <...> и неопубликованной кандидатской диссертацией Л. А. Спендиарова, в которой дан ряд анализов пород из моего сбора 1891 г.”. После защиты этой диссертации Л. А. Спендиаров был зачислен в штат Министерства земледелия России.

1 сентября 1896 г. он женился на внучатой племяннице Айвазовского Варваре Леонидовне Мазировой. Невероятно романтическая история, достойная пера великого писателя о том, как Александр Спендиаров был покорен красотой Варвары Леонидовны и во всеуслышанье объявил: “Я решил, что на ней должен жениться... Лена” – все это очень подробно описано в книге дочери Александра Спендиарова – Марины Спендиаровой “Спендиаров”, вышедшей в серии “Жизнь замечательных людей” в 1964 г. и к которой мы отсылаем читателя.

В том же году Министерство земледелия командировало Л.А. Спендиарова в Вену для изучения геологии и почвоведения и применения их в сельском хозяйстве, и он выехал туда вместе с женой.

Работая в Императорской лаборатории земледельческой химической опытной станции, Л. А. Спендиаров проводил минералогический и механический анализ почв и горных пород, изучал минеральные удобрения. В 1897 г. он начал работать в Палеонтологическом институте Вены. Он совершает многочисленные научные экскурсии по окрестностям Вены и в Богемии и обрабатывает собранный им ранее в Крыму и на Кавказе материал для своей будущей магистерской диссертации. В том же году он опубликовал статью о морских ежах на Кавказе, в которой описал виды, ранее неизвестные в этом районе. Эта статья не потеряла своей научной ценности и сегодня.

В августе 1897 г., в Санкт-Петербурге состоялась VII сессия Международного геологического конгресса. За месяц до открытия Конгресса было проведено 3 экскурсии: Уральская, Финляндская и Эстонская. В связи с организацией Уральской экскурсии Л. А. Спендиаров, оставив в Вене жену и новорожденного сына, выехал в Россию, чтобы вместе со своим учителем Ф. Ю. Левинсоном-Лессингом организовать эту экскурсию. В большинстве публикаций об этой поездке Л. А. говорится о том, что во время одной из экскурсий он упал с поскользнувшейся лошади и получил серьезный ушиб головы. Не придав этому большого значения, он утром 17 августа присутствует на церемонии открытия Конгресса, а вечером теряет сознание и уходит из жизни.

В наше распоряжение попал документ, прояснивший это трагический эпизод его жизни. Экскурсию на Урале, в которой принял участие Л. А. Спендиаров сопровождал корреспондент екатеринбургской газеты “Урал” Владимир Яковлевич Кричевский. Вот как он описал эту злосчастную экскурсию: “Утро выдалось хмурое, дождливое; дождик был, правда мелкий и с частыми перерывами. Расселись по кошевкам и двинулись. Был праздничный день. Население высыпало к воротам и окнам и терпеливыми глазами следило за невиданным здесь, почти на версту растянувшимся, поездом иностранных гостей. Вдруг кошевка, в которой был Спендиаров с русским инженером-путейцем, опрокинулась и седевших в ней, извлекли из-под нее. Инженер и кучер отделались только испугом, а Спендиаров тяжело захромал, левая рука была в крови. Его подвели к окну первой избу и здесь дали обмыться от грязи, а Спендиарову сделали перевязку руки. Повреждение оказалось незначительным и вскоре мы догнали партию у первого обнажения”. А далее, после возвращения в Санкт-Петербург, он, сидя за столом в кабинете отца, неожиданно теряет сознание и умирает.

Дочь Александра Спендиарова Марина писала о том, что отец ее мужа и Леонида умер в 1901 году от заражения крови, полученного от небольшого пореза на ноге. Трагической была и судьба Сына Леонида Леся. 29 июня 1914 года он выехал вместе с дядей Александром из Крыма в Петербург. “Незадолго перед тем – писала Марина Александровна – Леся упал с лошади, отделавшись небольшим головокружением и ранкой на подбородке”, а 6 июля он скончался”. Сопоставляя приведенные факты, можно предположить, что Леонид Спендиаров имел по наследству слабый иммунитет, и его внезапная смерть наступила от заражения крови через рану, полученную при падении из кошевки.

Внезапная смерть в возрасте 28 лет оборвала блестяще начатые фундаментальные работы. Вначале Л. А. Спендиаров был похоронен на Армянском кладбище в Санкт-Петербурге, а затем гроб с его телом был перевезен в Симферополь и захоронен в семейном склепе.



Город Симферополь. Семейный склеп Спендиаровых

Жизнь Леонида Спендиарова была короткой, но она оставила яркий след в геологической науке и вызывает подлинное восхищение у многих поколений геологов.

Труды, геологические коллекции и библиотека Л. А. Спендиарова были переданы его отцом в дар Дерптскому университету, где они хранятся и ныне. По ходатайству отца и жены Л. А. Спендиарова, для увековечения памяти трагически погибшего молодого ученого Геологический комитет принял решение об учреждении премии его имени из суммы, внесенной для этой цели в петербургский банк его родными. Геологический Конгресс разработал положение о премии, гласившее:

“Капитал в сумме 4000 рублей, внесенный родными ученого на вечный вклад за №33318 считается неприкосновенным. Премия выдается из процентов этого капитала за три года и присуждается Международным геологическим конгрессом на очередной сессии ученым без различия национальностей, за лучшее сочинение в области геологии по вопросам, предложенным Конгрессом на предшествующей сессии. В случае если премия не будет выдана, она остается на увеличение основного капитала”.

Для присуждения премии на Конгрессе избиралась комиссия, в которую обязательно входил представитель России. Впервые премия имени Л.А. Спендиарова была присуждена на VIII сессии Конгресса в 1900 г. в Париже. Ею был награжден А. П. Карпинский. Однако, приняв оказанную ему честь, Карпинский отказался от денежной суммы, оставив ее в распоряжении Конгресса. Поэтому Бюро Конгресса передало сумму премии франко-швейцарскому геологу П. Шаффа за его работы по стратиграфии и геологии Португалии. Затем премии были присуждены последовательно на следующих сессиях Конгресса. Карпинский говорил, что эта премия с самого начала была поистине международной: она была имени армянина, присуждена русскому, а вручена швейцарцу-французу на португальской службе.

В 1917 г. капитал премии был конфискован правительством СССР. В 1926 г. капитал был восстановлен при участии Геологического комитета России. Большую роль в этом сыграл Д. И. Мушкетов, который подтвердил правопреемственность СССР по вручению премии имени Л. А. Спендиарова.

С 1929 по 1964 гг. премия опять вручалась.

В 1968 г., на 23-й сессии Международного геологического конгресса в Праге премия им. Л.А. Спендиарова не вручалась, т.к. 21 августа начался ввод советских войск в Чехословакию, и поэтому многие делегаты Конгресса прервали его работу.

После этого премия вновь вручалась.

В 2008 г., на 33-й сессии МГК в Осло премия числилась в Отделении наук о Земле РАН, но не вручалась, т.к. Президиум РАН не выделил денежных средств.

В 2012–2024 гг., на очередных конгрессах МГК премия не вручалась.

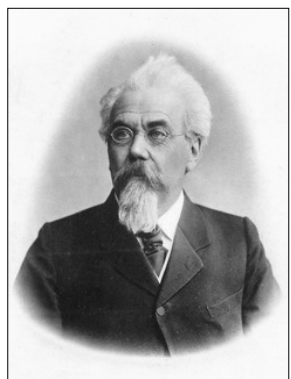
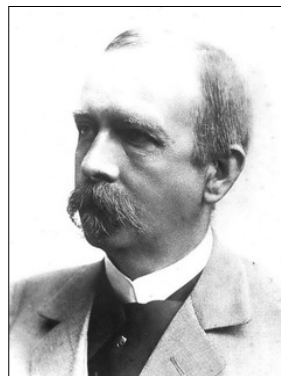
На очередной, 38-й сессии в 2028 г. в Санкт-Петербурге премия имени Л. А. Спендиарова фигурирует как «планируемое мероприятие», и мы надеемся, что она будет восстановлена.

ВСЕ ЛАУРЕАТЫ ПРЕМИИ ИМЕНИ Л.А. СПЕНДИАРОВА



1. КАРПИНСКИЙ Александр Петрович [26.12.1846 (07.01.1847) – 15.07.1936] – русский геолог, первый выборный президент Российской академии наук. Лауреат первой премии имени Л. А. Спендиарова как основоположник многих направлений в различных областях геологии. (1900 г.). Приняв оказанную ему честь, он отказался от денежной суммы, которая была передана франко-швейцарскому геологу П. Шаффу.

2. БРЁГГЕР Вальдемар Кристофер (Brøgger, Waldemar Christopher; 10.11.1851 – 17.02.1940) – норвежский геолог. Основоположник учения о дифференциации магмы. Лауреат премии имени Л. А. Спендиарова за труды по петрографии (1903 г.).



3. ЧЕРНЫШЁВ Феодосий Николаевич [12(24).09.1856 – 02(15).01. 1914] – русский геолог и палеонтолог. Труды по палеонтологии; стратиграфии, минералогии и петрографии. Лауреат премии имени Л. А. Спендиарова за труды по Уралу и Тиману (1906 г.).

4. КЛАРК Джон Мэсон (Clarke, John Mason; 15.04.1857 – 29.05.1925) – американский палеонтолог и стратиграф. Описал 125 новых родов и 865 новых видов. Лауреат премии имени Л. А. Спендиарова за труд по девонским отложениям Северной Америки (1910 г.).



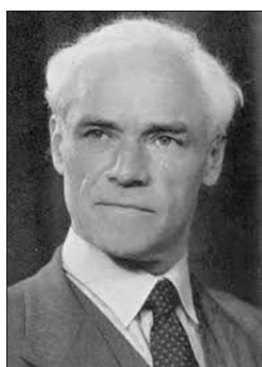
5. АРГАН Эмиль (Argand, Émile; 06.01.1879 – 14.09.1940) – швейцарский геолог. Геология Западных Альп, тектоника Азии. Лауреат премии имени Л. А. Спендиарова за труды по геологии Альп (1918 г.).

6. НЕЛЬ Луи Тэйлор (Nel, Louis Taylor; 24.02.1895 – 09.06.1968) – геолог Южно-Африканского Союза. Труды по геологии рудных месторождений. Лауреат премии имени Л. А. Спендиарова, “как подающий надежды исследователь” (1929 г.).



7. НОЛАН Томас Бреннан (Nolan, Thomas Brennan) (21.05.1901 – 01.08.1992) – американский геолог. Фундаментальные исследования в различных отраслях геологии. Лауреат премии имени Л. А. Спендиарова (1933 г.) “как особенно многообещающий молодой геолог”.

8. БАТУРИН Владимир Петрович [14(27).09.1902 – 07.11.1945] – русский геолог. Геология Урало-Эмбинской и Урало-Волжской нефтегазоносных областей, разработка методики расчленения осадочных толщ на основе изучения минерального состава пород. Лауреат премии имени Л. А. Спендиарова за труды по петрографии осадочных пород (1937 г.).



9. УЭЙДЖЕР Лоуренс Рихард (Wager, Lawrence Rickard) (5.02.1904 – 30.11.1965) – английский геолог, которого называли “одним из лучших геологических мыслителей своего поколения”. Лауреат премии имени Л. А. Спендиарова за исследования в Гималаях и Гренландии (1948 г.).

10. ТЕРМЬЕ Анри Франсуа Эмиль (Termier, Henri-François-Émile) (13.12.1897 – 12.08.1989) – французский геолог. Проводил детальные исследования стратиграфии и ископаемой фауны Марокко. Лауреат премии имени Л. А. Спендиарова за геологические исследования в Северной Африке (1952 г.).



11. АЛЬВАРЕС Мануэль, Младший (Alvarez, Manuel, Jr.; 10.08.1905 – 09.08.1989) – мексиканский геолог. Наиболее значительные монографии: “Тектоника Мексики” и “Принципы стратиграфии”. Лауреат премии имени Л. А. Спендиарова как “выдающийся геолог Мексики” (1956 г.).

12. ТОРАРИНССОН Сигурдур (Þórarinsson, Sigurður) (08.01.1912 – 08.02.1983) – исландский геолог. Пионер тефрохронологии. Лауреат премии имени Л. А. Спендиарова за труды по геологии и вулканологии Исландии (1960 г.).



13. РОЙ Бабеш Чандра (Roy Bhabesh Chandra: 1907–1984 гг.) – индийский геолог – характеристика геолого-геохимических процессов, которые приводят к формированию разнообразных рудных месторождений. Один из основателей и первый вице-президент по Азии и Африке Международной комиссии по истории геологических знаний (INHIGEO) (1967 г., Ереван). Лауреат премии имени Л.А. Спендиарова за тектоническую карту Индии (1964 г.).

14. УИННЕ-ЭДВАРДС Хью-Роберт (Winne-Edwards Hugh Robert) (род. 19.01.1934) – канадский геолог и предприниматель. Лауреат премии им. Л. А. Спендиарова за труды по геологии Канады (1972 г.).



15. ФИШЕР Норман Генри (Fisher, Norman Henry; 30.09.1909 – 23.09.2007) – австралийский геолог. Вулканологические исследования, разведка и оценка стратегических месторождений полезных ископаемых Австралии. Лауреат премии имени Л. А. Спендиарова за вклад в геологическое картирование Австралии (1976 г.).

16. БЛАНШЕ Рене (Blanchét, Rene) (род. 22.06.1941) – французский геолог. Структурная геология, тектоническое строение океанического дна. Лауреат премии имени Л.А. Спендиарова за труды по структурной геологии (1980 г.).



17. БОГДАНОВ Никита Алексеевич (23.07.1931 – 14.12.2003) – русский геолог, член-корреспондент АН СССР (РАН). Лауреат премии им. Л.А. Спендиарова “за успешное проведение международных исследований по проекту “Офиолиты и океаническая кора геологического прошлого”, изучение развития палеозоя складчатого обрамления Тихого океана и геологии его глубоководных желобов и окраинных морей и большую работу по подготовке XXVII сессии Международного геологического конгресса” (1984 г.).

18. КИФФЕР Элизабет Вернер Сьюзен (Kieffer, Elizabeth Werner Susan) (род. 17.11.1942) – американский геолог, специалист по геофизической геодинамике. Лауреат премии имени Л. А. Спендиарова (1989 г.) – единственная женщина, удостоившаяся этой премии. Часть денежной суммы приза она передала одной американской школе с тем, чтобы ежегодно награждать школьников за лучшую работу о премии имени Л. А. Спендиарова, о самом Л. А. Спендиарове или об Армении.





19. МИЯШИРО Акихо (Miyashiro, Akiho) (30.10.1920 – 24.07.2008) – японский геолог. Известен своим вкладом в метаморфическую и магматическую петрологию и в изучение тектоники и метеоритов. Лауреат премии имени Л. А. Спендиарова (1992 г.).

20. ЛЮ БАОЮНЬ (Liu Baojun) (род. 13.09.1931) – китайский геолог. Специалист в области геологии осадочных образований, стратиграфии, геодинамики и рудных месторождений. Лауреат премии имени Л. А. Спендиарова (1996 г.).



21. ПИМЕНТЕЛЬ Марцио Мартинс (Pimentel, Marcio Martins) (род. в марте 1959 г.) – бразильский геолог. Его исследования включают орогенез, рифтогенез, субдукцию и палеозой. Лауреат премии имени Л.А. Спендиарова (2000 г.).

22. ДОЛИОНИ Карло (Doglioni, Carlo, род. 25.01.1957) – итальянский геолог. Изучение сейсмичности Средиземноморского региона. Лауреат премии имени Л. А. Спендиарова за исследования в области тектоники, геодинамики и региональной геологии Средиземноморского региона (2004 г.).



Լիտերատուրա

- Кирикиллица С.И., Полканов Ю.А.** 1983. Международная геологическая премия имени Л.А. Спендиарова // Советская геология., № 12. с.118-120.
- Левинсон-Лессинг Ф.Ю.** 1928. Армянское вулканическое нагорье // Природа, № 5. с. 429-446.
- Мандалян Р.А.** 2004. О Леониде Спендиарове и международной премии его имени //Изв. НАН РА. Науки о Земле. № 1, с.65-66.
- Положение о премии имени Геолога Леонида Афанасьевича Спендиарова. 1900. Известия Геологического Комитета. Т. XIX. с.55-56.
- Сардак Л.Л.** 2004. Международная премия имени Л.А. Спендиарова. Свидетельство очевидца. СПб.: ОАО «Силовые машины». № 22. с.35-38.
- Спендиарова М.А.** 1964. Спендиаров. (Жизнь замечательных людей). М.: Молодая гвардия. 208с.
- Тигранян С.Т.** 1970. Премия имени Л.А. Спендиарова // История геологии. Ереван: Изд-во АН АрмССР, с.345-350.

ԼԵՈՆԻԴ ԱՖԱՆԱՍԻԵՎԻՉ ՍՊԵՆԴԻԱՐՈՎԻ ԾՆՆԴՅԱՆ 155-ԱՄՅԱԿ

Գրիգորյան Գ. Ռ., Բադալյան Մ.Բ., Խումիզուրի Գ. Պ., Պողոսյան Ն. Յ., Խաչատրյան Ա.Ա.

Ամփոփում

Հոդվածի նպատակն է կրկին հակիրճ ուրվագծել Լ.Ա. Սպենդիարովի կենսագրությունը և ցույց տալ նրա անվան մրցանակի նշանակությունը, որը շնորհվում է աշխարհի լավագույն երկրաբաններին 4 տարին մեկ՝ Միջազգային երկրաբանական կոնգրեսներում: Այս մրցանակի պատմությունն առաջին անգամ մանրամասն նկարագրված է, թե ում է այն շնորհվել 2008 թվականից ի վեր, անհայտ է, բայց մենք իսկապես հուսով ենք, որ այն կրկին կվերականգնվի 2028 թվականին կայանալիք միջազգային համագումարի ժամանակ:

155 YEARS SINCE THE BIRTH OF LEONID AFANASIEVICH SPENDIAROV

**Grigoryan G. R., Badalyan M. B., Khumizuri G.P., Poghosyan N. J.,
Khachatryan A. A.**

Abstract

The purpose of the article was to briefly outline the biography of L. A. Spendiarov and to show the significance of the prize named after him, awarded to the best geologists in the world every 4 years at the International Geological Congresses. The history of this award is described in detail for the first time; who it was awarded to since 2008 is unknown, but we really hope that it will be restored again at the next international congress in 2028.

ՀԻՇԱՐԱՆ ՏԱՐԵԹՎԵՐ

DOI: 10.54503/0515-961X-2024.77.3-71

ՌՈՒԲԵՆ ՏԻԳՐԱՆԻ ՋՐԲԱՇՅԱՆ

(ծննդյան 90-ամյակին)



2024 թ. դեկտեմբերի 13-ին լրացավ ճանաչված գիտնական, հրաբխագետ, ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս, Հայաստանի գիտության վաստակավոր գործիչ, Ռուսաստանի Դաշնության Բնական գիտությունների ակադեմիայի անդամ, Հրաբխագիտության և Երկրի ընդերքի քիմիայի միջազգային միության անդամ, 1993–2006 թթ. ՀՀ ԳԱԱ ԵԳԻ տնօրեն, 2006-ից՝ տնօրենի խորհրդական, 1989–2011 թթ. ԵԳԻ հրաբխագիտության լաբորատորիայի վարիչ, երկրաբանա-հանքաբանական գիտությունների դոկտոր **Ռուբեն Տիգրանի Ջրբաշյանի 90-ամյակը:**

ՀՀ ԳԱԱ նախագահությունը, ՀՀ ԳԱԱ քիմիայի և Երկրի մասին գիտությունների բաժանմունքի և ՀՀ ԳԱԱ երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտի անձնակազմը ջերմորեն շնորհավորում են Ռուբեն Տիգրանի Ջրբաշյանին հոբելյանի առթիվ:

Ռ. Ջրբաշյանը ծնվել է 1934 թ. ք. Երևանում, ականավոր երկրաբան, պրոֆեսոր, ԵՊՀ երկրաբանական ֆակուլտետի հիմնադիր և Հայաստանի երկրաբանական ծառայության հիմնադիրներից մեկի՝ Տիգրան Արշակի Ջրբաշյանի ընտանիքում:

1957 թ., ավարտելով ԵՊՀ երկրաբանական ֆակուլտետը, նա աշխատանքի է անցել ՀՀ ԳԱԱ Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտում: 1958–1961 թթ. սովորել է Մոսկվայում, ԽՍՀՄ ԳԱ օգտակար հանածոների, պետրոգրաֆիայի, միներալաբանության և երկրաքիմիայի ինստիտուտի (ИГЕМ АН СССР) ասպիրանտուրայում որտեղ էլ 1964 թ. պաշտպանել է թեկնածուական ատենախոսությունը: Այնուհետև, 1990 թ., Թբիլիսիի Հանքային հումքի կովկասյան գիտահետազոտական ինստիտուտում հաջողությամբ պաշտպանել է նաև դոկտորական ատենախոսությունը:

Ռ. Ջրբաշյանն իր կյանքի և գործունեության շուրջ 70 տարիներն անվերապահորեն նվիրաբերել է երկրաբանական գիտությանն ու հարազատ ինստիտուտին: Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտում նա անցել է գիտաշխատողի, ավագ գիտաշխատողի, գիտական քարտուղարի, հրաբխագիտության բաժնի վարիչի, գիտության գծով փոխտնօրենի և տնօրենի ուղի: Ռ.Ջրբաշյանի աշխատանքային գործունեությունը նվիրված է եղել Հանրապետության և հարակից տարածքների երկրաբանության տարբեր հիմնահարցերի ուսումնասիրությանը, հիմնականում՝ մագմայական և հրաբխային գոյացումների առանձնահատկությունների բացահայտմանը: Ռ. Ջրբաշյանը հաստուկ ուշադրության է արժանացրել Հարավային Կովկասի սահմաններում, տարբեր երկրադինամիկական իրադրություններում էոցենյան հասակի հրաբխականությանը, դրա զարգացման օրինաչափությունների վերլուծությանը, օգտակար հանածոների հանքավայրերի առաջացման ու տեղաբաշխման գործում դրա դերին և նշանակությանը:

Ռ. Ջրբաշյանը, որպես խմբագիր և համահեղինակ, մասնակցել է ԽՍՀՄ տարածքի հնահրաբխագիտական առաջին ատլասի ստեղծմանը: Այդ հետազոտությունների հիման վրա նա 1970-կան թվականներին սկիզբ դրեց Հայաստանի երկրաբանական գիտության համար նոր ուղղության՝ հնահրաբխագիտությանը:

Հետագայում Ռ.Ջրբաշյանի հետազոտություններն ընդգրկեցին Հայաստանի տարածքի և Հայկական լեռնաշխարհի նորագույն հրաբխականությունը, դրա զարգացման օրինաչափությունները, ինչպես նաև՝ հրաբխային հնարավոր վտանգի գնահատման հարցերը:

Ռ. Ջրբաշյանի բազմաթիվ աշխատություններ, որոնք անդրադառնում են երկրաբանական գիտության տարբեր բնագավառների արդիական խնդիրներին և հատկապես՝ հրաբխագիտությանն առնչվող հարցերին, լայն ճանաչում են գտել Հանրապետությունում, նախկին ԽՍՀՄ և արտասահմանյան շատ երկրներում:

Ռ. Ջրբաշյանը զբաղվել է նաև մանկավարժական գործունեությամբ: Երկար տարիներ որպես պրոֆեսոր դասավանդել է Երևանի Պետական համալսարանի երկրաբանական ֆակուլտետում, եղել է մի քանի թեկնածուական ատենախոսությունների գիտական ղեկավար:

Նա հեղինակ և համահեղինակ է միջազգային և տեղական ամսագրերում լույս տեսած ավելի քան 150 գիտական հոդվածի և 9 մենագրության, այդ թվում՝ «Լեռնային Ղարաբաղի Հանրապետության երկրաբանությունը և հանքային պաշարները» (2011) մենագրության՝ որպես խմբագիր և համահեղինակ, հեղինակ է առաջին հայալեզու բուհական՝ «Հրաբխագիտության հիմունքները և Հայաստանի նորագույն հրաբխականությունը» (2013) դասագրքի, ինչպես նաև մի շարք հանրամատչելի հրատարակումների ու ձեռագիր աշխատությունների: Ռ. Ջրբաշյանը

մինչ օրս շարունակում է իր ակտիվ գիտական գործունեությունը, ինչի արդյունք են 2024 թ. նրա համահեղինակությամբ լույս տեսած «Каталог четвертичных вулканов территории Республики Армения» և Trace Element Geochemistry of Armenian Obsidian Sources and the Provenance of Archaeological Obsidian Artefact նշանակալի աշխատությունները:

Ռ. Ջրբաշյանը երկար տարիներ եղել է «Երկրի մասին գիտություններ» բնագավառի «Երկրաբանություն» մասնագիտությամբ աստիճանաշնորհման գիտական խորհրդի նախագահ, ՀՀ ԳԱԱ «Գիտություններ Երկրի մասին» տեղեկագրի գլխավոր խմբագիր, ՀՀ ԳԱԱ նախագահության խմբագրական-հրատարակչական խորհրդի և ԳԱԱ «Գիտության աշխարհում» հանդեսի խմբագրական կոլեգիայի անդամ:

Իր երկարամյա, նվիրված և բեղուն գործունեության համար Ռ. Ջրբաշյանը պարգևատրվել է ԽՍՀՄ և ՀՀ մի շարք մեդալներով, այդ թվում՝ ՀՀ կառավարության Անանիա Շիրակացու անվան մեդալով (2003), Ռուսաստանի Բնական գիտությունների ակադեմիայի Պ.Կապիցայի անվան հուշամեդալով (1999), 1994 թ. արժանացել է ԱՄՆ Հայկական գիտական և ճարտարագիտական ընկերության Վ. Համբարձումյանի անվան դիպլոմի, ՀՀ ԳԱԱ գովեստագրերի, իսկ 2012 թ. ՀՀ նախագահի հրամանագրով նրան շնորհվել է ՀՀ գիտության վաստակավոր գործչի պատվավոր կոչում:

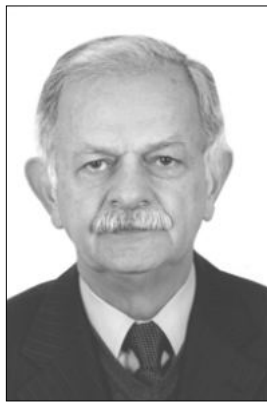
ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս Ռուբեն Տիգրանի Ջրբաշյանին, մեծ հարգանք և հեղինակություն վայելող, իր և գործընկերների հանդեպ պահանջկոտ, գիտության նվիրյալ հանրաճանաչ գիտնականին, բարեկիրթ անձնավորությանն ու ազնիվ քաղաքացուն գիտական հանրության և գործընկերների անունից շնորհավորում ենք 90-ամյա հոբելյանի առթիվ և սրտանց մաղթում ենք քաջառողջություն, գիտական և ստեղծագործական երկարակեցություն:

*ՀՀ ԳԱԱ քիմիայի և Երկրի մասին գիտությունների բաժանմունք
ՀՀ ԳԱԱ երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտ*

DOI: 10.54503/0515-961X-2024.77.3-74

ՌԱՖԱՅԵԼ ԼԵՎՈՆԻ ՄԵԼՔՈՆՅԱՆ

(ծննդյան 90-ամյակին)



Լրացավ վաստակավոր երկրաբան, ՀՀ ԳԱԱ երկրաբանական ինստիտուտի գլխավոր գիտաշխատող, ՀՀ ԳԱԱ թղթակից-անդամ, երկրաբանամիներալոգիական գիտությունների դոկտոր, ՀՀ գիտության վաստակավոր գործիչ Ռաֆայել Լևոնի Մելքոնյանի 90-ամյակը:

Ռ. Մելքոնյանը ծնվել է 1934 թ. նոյեմբերի 29-ին Երևանում ՀԽՍՀ պետական գործիչ Լևոն Մխիթարի Մելքոնյանի ընտանիքում: 1953 թ.-ին, ավարտելով Երևանի Ձերժինսկու անվան միջնակարգ դպրոցը արժաթե մեդալով, ընդունվում է Երևանի պետական համալսարանի երկրաբանական ֆակուլտետ, որն էլ գերազանցությամբ ավարտում է 1958 թ.՝ ստանալով ճարտարագետ-երկրաբանի որակավորում: Նույն թվականին աշխատանքի է անցնում ԽՍՀՄ երկրաբանության նախարարության, Անդրկովկասի տարածքում ռադիոակտիվ հումքի (ուրանի) պաշարների հայտնաբերման և հետախուզման հայտնի Գրոմովյան արշավախմբի 103-րդ երկրաբանական ջոկատում որպես երկրաբան-ճարտարագետ: 1960 թ.-ից տեղափոխվում է ՀԽՍՀ ԳԱ (հետագայում՝ ՀՀ ԳԱԱ) երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտ (ԵԳԻ), որտեղ 64 տարի շարունակ աշխատելով զբաղեցրել է գիտական քարտուղարի (1973–1976 թթ.), Պետրոլոգիայի և իգոտոպային երկրաբանության լաբորատորիայի վարիչի (1976–2010 թթ.), գիտության գծով փոխտնօրենի (1981–1988 թթ. և 1993–2017 թթ.) պաշտոններ: Երիտասարդ գիտաշխատողի գիտական հետաքրքրություններն ի սկզբանե կենտրոնացած էին Ալավերդու հանքային դաշտի ինտրուզիվ գոյացումների պետրոգրաֆիական, միներալոգիական և երկրաքիմիական ուսումնասիրությունների վրա:

1970 թ. երիտասարդ գիտաշխատողը Մոսկվայում պաշտպանում է «Ալավերդու հանքային շրջանի ինտրուզիվ համալիրները» թեկնածուականատենախոսությունը և ստանում երկրաբանամիներալոգիական

գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճան: Իր թեկնածուական թեզում Ռ.Մելքոնյանը առաջին անգամ ապացուցում է այդ հանքային դաշտի ինտրուզիվ համալիրների սկզբնական հալոցքների բազալտային կազմի առկայությունը, որը տրամագծորեն տարբերվում էր նախկինում գերիշխող սկզբնային հալոցքների թթու գրանիտային կազմի մասին եղած պատկերացումներից և հիմնավորում պղինձ-հրաքարային հանքայնացման կապը այդ բազալտային հալոցքների խորքային օջախների հետ:

Ճանաչված գիտնականը 1989 թ. ԽՍՀՄ ԳԱ մետաղական հանքավայրերի, երկրաբանության, պետրոգրաֆիայի, միներալոգիայի և երկրաքիմիայի (ИГЕМ, Մոսկվա) գիտահետազոտական ինստիտուտի գիտական խորհրդում հաջողությամբ պաշտպանում է դոկտորական ատենախոսությունը «Փոքր Կովկասի մեզոզոյան կղզադեղային գրանիտոիդային ֆորմացիաների պետրոլոգիան և հանքաբերությունը» թեմայով և ստանում երկրաբանամիներալոգիական գիտությունների դոկտորի գիտական աստիճան: Դոկտորական աշխատանքում, որի ընդդիմախոսներից էր ականավոր գիտնական, վրաց ակադեմիկոս Գ.Ա. Տվարչելիձեն, բացահայտվել և նորովի են մեկնաբանվել Փոքր Կովկասի կղզադեղային համալիրների երկրաբանական կառուցվածքի, հանքագոյացման և պետրոլոգիական որոշ առանձնահատկություններն ու օրինաչափությունները: Ռ. Մելքոնյանի մանրակրկիտ ուսումնասիրությունների արդյունքում Փոքր Կովկասի տարածաշրջանի համար առաջին անգամ առանձնացվել է պղինձ-մոլիբդենային հանքավայրերի տոնալիտային մոդելի նոր կղզադեղային տիպ՝ Թեդուտ, Ոսկեպար, Շիկահող՝ Հայաստանում, Կաշեն Արցախում՝ կապված վերին յուրայի հասակի թթու կազմի տոնալիտային ֆորմացիաների ինտրուզիաների հետ, ինչպես նաև հայտնագործվել են մի շարք պղինձ-մոլիբդենային հանքերակումներ՝ Ծաղկաշեն Ալավերդու շրջանում և այլն: Հայաստանի օրինակով առաջին անգամ ցույց են տրվել տարբեր երկրադինամիկ պայմաններում կղզադեղային (Թեդուտ-Կաշեն և ուր.) և կոլիզիայի հետևանքով առաջացած (Քաջարան-Ագարակ և ուր.) պղինձ-մոլիբդենային պորֆիրային հանքավայրերի սկզբունքային տարբերությունները:

Մագմային հալոցքների ասիմիլյացիայի և դիֆերենցիացիայի գործընթացների տարբերակման համար Ռ. Մելքոնյանի կողմից (համահեղինակ՝ Մ. Հակոբյան) մշակվել է թթվածնաիզոտոպային հետազոտությունների մի նոր մեթոդ և առաջին անգամ ապացուցվել է պղինձ-մոլիբդենային հանքավայրերի առաջացման մեջ հիդրոթերմալ լուծույթների կազմում ծովային ջրերի և դրանցում պարունակվող

ծծմբի ակտիվ մասնակցության փաստը: Ռ. Մելքոնյանը (համահեղինակներ՝ ԵԳԻ-ի գիտաշխատողներ Ռ. Տայան, Ռ. Ղուկասյան, Մ. Հարությունյան) ռուբիդիում-ստրոնցիումային իզոտոպային հետազոտությունների արդյունքում բացահայտել է Մեդրու պլուտոնի առաջացման երեք տարատեսակ և տարահասակ ինքնուրույն համալիրներ և առաջին անգամ պարզաբանել է երկու տարբեր հասակի՝ բարտոնի (41–37 մլն տարի) և վերին ոյուպելի (31–28 մլն տարի) հասակի մոնցոնիտների առկայությունը այդ պլուտոնում:

Ռ. Մելքոնյանը (համահեղինակներ՝ Ռ. Մորից, Դ. Սելբի, Ռ. Տայան, Ռ. Ղուկասյան, Մ. Հովակիմյան) առանձնացրել է հայ-իրանական պղինձ-մոլիբդենային պորֆիրային հանքայնացման մոտ 2000 կմ ձգվածության նոր դիսկրետ պրովինցիա, որի սահմաններում տեղաբաշխված են այնպիսի հսկայական հանքավայրեր, ինչպիսիք են Քաջարանը Հայաստանում և Սար-Չեշմենը հարավային Իրանում:

Ականավոր գիտնականը վերջին տասնամյակներում դեկավարել և համադեկավարել է ՀՀ տարածքի մագմայականության և մետաղագոյացման տարբեր միջազգային աշխատանքային խմբերի (ԱՄՆ, Թայվան, Շվեյցարիա և այլն), մի շարք գիտական խոշոր նախագծեր (INTAS, SCOPES, CRDF և այլն): Հայ-ֆրանսիական համագործակցության արդյունքում կարևոր և նոր տեղեկատվություններ են ստացվել ՀՀ տարածքի օֆիոլիտների մասին (համահեղինակներ՝ Ա. Ավագյան, Ղ. Գալոյան, Տ. Դանիելյան, Յ. Ռոլլանդ, Լ. Սահակյան, Մ. Սոստն և ուր.): Ռ. Մելքոնյանը հեղինակ և համահեղինակ է ավելի քան 130 գիտական աշխատությունների, այդ թվում՝ մի շարք հոդվածների արտասահմանյան բարձր ազդեցության գործակից ունեցող պարբերականներում, 4 մենագրության (3-ը՝ համահեղինակությամբ), որոնցից մեկը նվիրված է Արցախի երկրաբանությանը և օգտակար հանածոներին, 6 ձեռագիր հաշվետվությունների: ՀՀ տարածքի մի շարք երկրաբանական ու մետաղական օգտակար հանածոների տարբեր մասշտաբի քարտեզների համահեղինակ է: Զգալի է գիտնականի ավանդը երկրաբանական գիտությունների պատմության ուսումնասիրման ասպարեզում: 1994 թ.-ից ՀՀ ԳԱԱ «Գիտություններ Երկրի մասին» գիտական պարբերականի խմբագրական կոլեգիայի անդամ է, իսկ 2018 թ.-ից՝ գլխավոր խմբագիր:

Ռ. Մելքոնյանը մշտապես աչքի է ընկնում առանձնահատուկ աշխատասիրությամբ և պատասխանատվության բարձր զգացումով, լայն գիտական մտահորիզոնով, մեղմաբարո և համեստ վարքագծով և իր գործընկերների շրջանում վայելում է մեծ հեղինակություն:

Երկրաբանությանը մատուցած ծառայությունների համար 1985 թ. նրան շնորհվել է ՀԽՍՀ վաստակավոր երկրաբան պատվավոր կոչումը: 2000 թ. Ռ. Մելքոնյանը ընտրվել է ՀՀ ԳԱԱ թղթակից-անդամ, 1998 թ.՝ ՌԴ բնական գիտությունների ակադեմիայի արտասահմանյան անդամ, իսկ 2022թ. նրան շնորհվել է ՀՀ գիտության վաստակավոր գործիչի պատվավոր կոչում: 2010 թ. պարգևատրվել է Եվրոպայի բնական գիտությունների ակադեմիայի Լեոնարդո Էյլերի անվան մեդալով, 2013 թ.՝ ՀՀ Անանիա Շիրակացի մեդալով:

*ՀՀ ԳԱԱ քիմիայի և Երկրի մասին գիտությունների բաժանմունք
ՀՀ ԳԱԱ երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտ*

ԲԱԶՄԻ ԶԵՎԱՎՈՐՄԱՆ ԿԱՆՈՆԵՐԸ

1. Հայաստանի Հանրապետության Գիտությունների Ազգային Ակադեմիայի “Գիտություններ Երկրի մասին” տեղեկագրում հրատարակվում են Հայաստանում և արտասահմանյան երկրներում **երկրաբանության, երկրաֆիզիկայի, սելամոլոգիայի, լեռնային գործի, էկոգեոքիմիայի, ֆիզիկական աշխարհագրության** և Երկրի մասին գիտությունների այլ ասպարեզներում տարվող տեսական, փորձարարական և կիրառական հետազոտությունների արդյունքները:

Հոդվածները ներկայացվում են հայերեն, ռուսերեն կամ անգլերեն լեզվով, տպագրության համար պատրաստ վիճակում, հրատարակման թույլտվության և ուղեկցող նամակի հետ միասին: Տեղեկագրում բոլոր հրատարակումները առանց հոնորարի են:

2. Հոդվածի ծավալը, ներառյալ պատկերները, որոնց թիվը չպետք է անցնի 3-ից, ներառյալ “ա”, “բ” և այլն, աղյուսակները, ամփոփագիրը, օգտագործված գրականության ցանկը, պետք է կազմի մոտ 12 էջ: Տեքստը անհրաժեշտ է պատրաստել Microsoft Word-ով GHEA GRAPALAT տառատեսակի օգտագործմամբ, 12 չափով և 1.5 ինտերվալով, առանց տողադարձերի: Դաշտերը պետք է լինեն. Ձախից՝ 3սմ, վերևից և ներքևից՝ 2.5 սմ և աջից՝ 1 սմ: Հոդվածը ներկայացվում է 2 օրինակով, յուրաքանչյուրը հեղինակի (հեղինակների) ստորագրությամբ և էլեկտրոնային տարբերակով, CD սկավառակի վրա:

Պատկերները, լուսանկարները և աղյուսակները, համարակալման և բացատրագրերի հետ միասին, պետք է լինեն սև-սպիտակ, A4 ֆորմատից ոչ մեծ և պարզ ընթերցելի: Պատկերների համակարգչային տարբերակները պետք է լինեն *.bmp, *.tif կամ *.pcx ֆորմատներով, 200-600 dpi ընդարձակմամբ (կետ/դյույմ):

3. Հեղինակները պետք է հետևեն ամսագրերում հոդվածների տպագրման ընդունված կարգին. հոդվածի վերնագիրը, հեղինակի (հեղինակների) անվան- հայրանվան սկզբնատառերը և ազգանունը (ազգանունները), կազմակերպությունը և հասցեն, ներառյալ E-mail-ը (եթե համահեղինակները տարբեր կազմակերպություններին են, բերվում են բոլորի հասցեները՝ կապակցված աստղանիշով), հոդվածի անոտացիան (8-10 տող), հիմնաբառերը (7-9 բառ): Ապա հետևում են հոդվածի հիմնական տեքստը, **պարտադիր նշելով հոդվածի տպագրման նպատակը և գիտական նորությունը**, ամփոփագիրը ռուսերեն (հայերեն) լեզվով և անոտացիան անգլերեն լեզվով:

4. Օգտագործված գրականությունը բերվում է ընդհանուր ցուցակով՝ **առանձին էջի վրա**: Հեղինակների ազգանունները գրվում են այբբենական կարգով (առաջինը՝ հոդվածի լեզվով, ապա հայերեն կամ ռուսերեն, վերջում՝ արևմտաեվրոպական լեզուներով): Տեքստում մեջբերվող հղումը բերվում է կլոր փակագծերում, հեղինակի միայն ազգանվան նշմամբ, բնօրինակի լեզվով, եթե հեղինակները երկուսից ավելի են, նշվում է առաջին համահեղինակի ազգանունը և այլն, ապա՝ հրապարակման տարին:

5. Մեջբերվող գրականության ցանկը ձևավորվում է հետևյալ կերպ. ա) գրքերի համար նշվում են հեղինակի (հեղինակների) ազգանունը և անվան-հայրանվան սկզբնատառերը, հրատարակման տարեթիվը, գրքի լրիվ անվանումը, որտեղ է հրատարակվել, հրատարակչությունը, էջերի քանակը; բ) ամսագրային հոդվածների համար՝ հեղինակի (հեղինակների) ազգանունը և անվան-հայրանվան սկզբնատառերը, հրատարակման տարեթիվը, հոդվածի լրիվ անվանումը, ամսագրի անվանումը՝ համաձայն ընդունված հապավումների, հատորը, ամսագրի կամ թողարկման համարը, էջերը; գ) գրքերում (հավաքածուներում) զետեղված հոդվածների համար՝ հեղինակի (հեղինակների) ազգանունը, անվան-հայրանվան սկզբնատառերը, հրատարակման տարեթիվը, գրքում հոդվածի լրիվ անվանումը (..... գրքում), գրքի անվանումը, որտեղ է հրատարակվել, հրատարակչությունը, էջերը; դ) սեղմագրերի համար՝ հեղինակի ազգանունը, անվան-հայրանվան սկզբնատառերը, ատենախոսության անվանումը՝ համաձայն ընդունված հապավման (օրինակ՝ երկրաբ.-հանր.գիտ.թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության սեղմագիր), քաղաքը, կազմակերպությունը, որտեղ կայացել է պաշտպանությունը, տարեթիվը, էջերի քանակը:

6. Թվարկված պահանջների չբավարարող հոդվածները չեն ընդունվում:

7. Սրբագրումից հետո լրացումներ չեն արվում:

8. Խմբագրության կողմից հոդվածի մերժման դեպքում հեղինակին վերադարձվում է բնագրի 1 օրինակը և խմբագրությունն իրեն է վերապահում հոդվածի մերժման պատճառների մասին բանավեճ չլարելու իրավունքը:

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РУКОПИСИ

1. В журнале сер. “Науки о Земле” Известий Национальной Академии наук Республики Армения публикуются результаты теоретических, экспериментальных и прикладных исследований, проводимых в Армении и зарубежных государствах в области **геологии, геофизики, сейсмологии, горного дела, экогеохимии, физической географии** и в других направлениях наук о Земле. Статьи представляются на армянском, русском или английском языке в окончательно подготовленном виде вместе с сопроводительным письмом и разрешением на опубликование. Все публикации в журнале безгонорарные.

2. Объем статьи, вместе с иллюстрациями, число которых не должно превышать 3, включая “а”, “б” и т.д., таблицами, резюме, библиографией должен составлять около 12 страниц. Текст должен быть подготовлен в редакторе Microsoft Word с использованием шрифтов TIMES NEW ROMAN размером 12 и распечатан в интервале 1.5, без переносов с полями (слева – 3.0 см, сверху, снизу – 2.5 см, а справа – 1.0 см). Статья представляется в 2-х экземплярах распечатки, подписанных авторами, а также в электронной версии на диске CD.

Рисунки, фотографии и таблицы вместе с нумерацией и подписью должны быть черно-белыми, форматом А4 и четко выполнены. Компьютерный вариант рисунков должен быть в формате *.bmp, *.tif или *.pcx с разрешением 200-600 dpi (точек на дюйм). Подрисовочные подписи прилагают на отдельной странице и оформляются согласно требованиям.

3. Авторам следует придерживаться общепринятой в журнале схемы статьи: название статьи, инициалы и фамилия автора (авторов), организация и адрес, включая E-mail (если соавторы из разных организаций, то приводятся адреса всех, привязанные сносками через звездочку); аннотация статьи (8-10 строк), после аннотации ключевые слова (7-9 слов), основная часть текста, **с обязательным указанием цели и научной новизны статьи**, резюме на русском (армянском) языке и аннотация на английском языке.

4. Литература приводится общим списком **на отдельной странице**. Фамилии авторов располагаются по алфавиту (вначале на языке статьи, затем армянские или русские, в конце западноевропейские). В тексте ссылка на литературу приводится в круглых скобках с указанием фамилии автора без инициалов, в оригинальной транскрипции, а если авторов более двух, то указывается фамилия первого соавтора и др., затем год издания.

5. Список цитируемой литературы оформляется следующим образом: а) для книг указывают фамилию автора (авторов) и инициалы, год издания, полное название книги, место издания, издательство, количество страниц; б) для журнальных статей – фамилия и инициалы автора (авторов), год издания, полное название статьи, название журнала согласно принятому сокращению, номер тома, номер журнала или выпуска, страницы; в) для статей в книгах (сборниках) – фамилия и инициалы автора (авторов), год издания, полное название статьи в книге (пишется В кн.: "..."), название книги, место издания, издательство, страницы; д) для авторефератов – фамилия и инициалы автора, название со ссылкой согласно принятому сокращению (Автореф.дисс. на соиск.уч.ст.канд. или доктора наук), город, организация, где состоялась защита, год, количество страниц.

6. Статьи, не отвечающие перечисленным требованиям, не принимаются.

7. Дополнения в корректуру не вносятся.

8. В случае, если статья отклонена редакцией, автору возвращается один экземпляр рукописи, и редакция оставляет за собой право не вести дискуссию по мотивам ее отклонения.

MANUSCRIPT PREPARATION GUIDELINES

1. Earth Sciences Series journal of the Proceedings of the National Academy of Sciences of the Republic of Armenia publishes results of theoretical, experimental and applied research conducted in Armenia and abroad in the field of **geology, geophysics, seismology, engineering seismology, mining, eco-geochemistry, physical geography, etc.** **Articles are submitted** in Armenian, Russian, or English as finally ready manuscripts enclosed with a cover letter and letter of authorization for publishing. All publications in the journal do not provide for any royalties.

2. Article volume, including maximum 3 illustrations with a, b, etc., tables, abstract, and list of references, shall total to about 12 pages. Texts shall be prepared in Microsoft Word editor with 12-point TIMES NEW ROMAN and printed 1.5-spaced without hyphenation. Text margins shall be set 3.0 from the left, by 2.5 cm from the bottom and top, and 1.0 cm from the right. Article manuscript shall be submitted in two printed copies signed by the authors, and as an electronic copy on CD disk.

Figures, photos and tables, numbered and with captions, shall be black-and-white in A4 format and of good quality. Electronic version of figures shall be in *.bmp, *.tif or *.pcx format with resolution of 200-600 dpi (dots per inch). Figure captions are attached on a separate page and formatted according to the requirements.

3. Authors shall adhere to the following template common for all articles in the journal: article title, initials and surname of author(s), affiliation and address, including e-mail (if authors have different affiliations, asterisked addresses for all must be placed in the footnote), abstract (about 8-10 lines), key words (7-9 words), body text with **mandatory indication of the purpose and scientific novelty** of the article, summary in Russian (Armenian) and abstract in English.

4. References should be listed on **a separate sheet**. The authors' surnames should be given alphabetically in the origin language of the article and followed by the Armenian or Russian, and then by the West-European). All citations in the text should have references in parentheses and include author's surname without initials, in original transcription and the year of publication. In case of two and more authors, the first author's surname followed by *et al* and the year of publication should be provided.

5. List of References is formatted as follows: a) author(s)' surname(s) and initials, year of publication, complete title, place of publication, publisher and number of pages are given for books; b) author(s)' surname(s) and initials, year of publication, complete article title, journal title in standard abbreviation, volume number and issue number, followed with number of pages, are given for journal articles; c) author(s)' surname(s) and initials, year of publication, complete article title followed by "In: " ... book title...", place of publication, publisher and number of pages are given for articles in books (article volumes); d) author's surname and initials, title and standard abbreviation for thesis abstracts (thesis abstract for the degree of Candidate, or Doctor of Geology and Mineralogy), year, city, thesis defense institution, and number of pages.

6. Articles not meeting the listed requirements are not accepted.

7. No additions are introduced into proofs.

8. If an article is rejected by editors, one copy of manuscript is returned to the author and editors reserve the right not to enter into discussion on the reasons for such rejection.

Подписано к печати 27.12.2024 г. печ. 5 л. Заказ N 1360
Тираж 150 экз. Цена договорная.
Типография НАН РА. 0019, Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24