

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

ISSN 0515-961X

ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ ԵՐԿՐԻ ՄԱՍԻՆ НАУКИ О ЗЕМЛЕ EARTH SCIENCES



1 / 2021

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

Գլխավոր խմբագիր՝
Ռ.Լ.ՄԵԼԿՈՆՅԱՆ

Խմբագրական կոլեգիա՝
**Ա.Հ.ԱՂԻՆՅԱՆ, Ա.Վ.ԱՎԱԳՅԱՆ (գլխ.խմբ.տեղակալ), Ա.Ա.ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ,
Հ.Ռ.ԲԱՂԴԱՍԱՐՅԱՆ, Գ.Ա.ԳԱԲՐԻԵԼՅԱՆՑ, Ղ.Լ.ԳԱԼՈՅԱՆ, Շ.Ա.ԳՅՈՒԼՆԱԶԱՐՅԱՆ,
Տ.ԴԱՆԵԼԻԱՆ (Ֆրանսիա), Լ.Զ.ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ, Ս.Մ.ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ,
Է.Ե.ԽԱՉԻՅԱՆ, Զ.Կ. ԿԱՌԱՊԵՏՅԱՆ, Խ.Բ.ՄԵԼԻԿՍԵՏՅԱՆ, Ռ.Ս.ՄՈՎՍԵՍՅԱՆ
(սլաժանային քարտուղար), Ս.Ն.ՆԱԶԱՐԵՏՅԱՆ, Ռ.Տ.ՋՐԲԱՇՅԱՆ,
Ս.Ա.ՓԱԼԱՆՅԱՆ (Ռուսաստան)**

Главный редактор
Р.Л.МЕЛКОНЯН

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

Editor in Chief
R.L.MELKONYAN

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

Խմբագրության հասցեն՝ 0019, Երևան-19, Մարշալ Բաղրամյանի 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 издательства “Гитутюн” НАН РА
Известия НАН РА, Науки о Земле, 2021

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՍԵՅՍՄՈԼՈԳԻԱ

- Սարգսյան Լ.Ս., Մելիքսեթյան Խ.Բ., Մետաքսյան Ժ.Ֆ., Լևոնյան Ա.Ֆ., Գրիգորյան Է.Ս., Թոքրամաջյան Ն., Նավասարդյան Գ.Խ., Մանուչարյան Դ.Ա., Գևորգյան Ս.Ռ. և Հարությունյան Կ.Ա.** Մայրցամաքային կոլիզիայի գոտում հրաբխատեկտոնական երկրաշարժեր. երկրաշարժերի պարսեր Գեղամի հրաբխային բարձրավանդակում (Հայաստանի Հանրապետություն) 3

ԻՆՖՈՐՄԱՏԻԿԱ

- Ավագյան Ա.Ա., Ասցատրյան Հ.Վ., Առաքելյան Ա.Ա., Տարապան Ն.Հ., Ներսիսյան Ա.Հ.** Մեծ տվյալներ, երկրի մասին և որոշ հարակից գիտություններում դրանց կիրառման հեռանկարները և արդի խնդիրները Հայաստանի Հանրապետությունում 20

ԵՐԿՐԱՖԻԶԻԿԱ

- Հարությունյան Ռ.Ա.** Եվս մեկ անգամ IX դարի Դվինի (Հայաստան) ավերիչ երկրաշարժերի մասին. դեպքերի քանակը և նրանց թվագրումը 40

ՇՐՋԱԿԱ ՄԻՋԱՎԱՅՐ

- Սահակյան Ն.Ա., Մկրտումյան Ա.Ս., Գրիգորյան Գ.Ռ.** ՀՀ Դեբեդ գետի ավազանում կլիմայի փոփոխության հետեվանքների վերլուծություն՝ կլիմայական արդարության համատեքստում եվ դրա վերաբերյալ հանրային իրազեկում 50

ՀԻՇԱՐԺԱՆ ՏԱՐԵԹՎԵՐ

- Վարախանյան Արկադի Ստեփանի** (ծննդյան 70-ամյակին) 59

СОДЕРЖАНИЕ

СЕЙСМОЛОГИЯ

- Саргсян Л.С., Меликсетян Х.Б., Метаксян Ж.Ф., Левонян А.Ф., Григорян Э.С., Тограмаджян Н., Навасардян Г.Х., Манучарян Д.А., Геворгян М.Р. и Арутюнян К.А.** Вулкано-тектоническая сейсмичность в зонах континентальной коллизии: рои землетрясений Гегамского вулканического хребта (Республика Армения) 3

ИНФОРМАТИКА

Авагян А.А., Асцатрян Г.В., Аракелян А.А., Тарасян Н.А., Нерсисян А.О. Большие данные, перспективы и актуальные задачи их использования в науках о Земле и смежных областях в Республике Армения.	20
--	----

ГЕОФИЗИКА

Арутюнян Р.А. Еще раз о разрушительных землетрясениях IX века в Двине (Армения): количество событий и их датировка	40
---	----

ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Саакян Н. А., Мкртумян А.С., Григорян Г. Р. Анализ последствий изменения климата в контексте климатической справедливости в бассейне реки Дебед Республики Армения и общественная осведомленность об этом.....	50
---	----

ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

Караханян Аркадий Степанович (к 70-летию со дня рождения)	59
--	----

TABLE OF CONTENT

SEISMOLOGY

Sargsyan L.S., Meliksetian Kh.B., Metaxian J-P., Levonyan A.F., Grigoryan E.S., Toghramadjian N., Navasardyan G.Kh., Manucharyan D.A., Gevorgyan M.R. and Harutjunyan K.A. Volcano-tectonic seismicity in continental collision zone: earthquake swarms in Gegham volcanic ridge (Republic of Armenia)	3
---	---

INFORMATICS

Avagyan A.A., Astsatryan H.V., Arakelyan A.A., Tarasyan N.H., Nersisyan A.H. Big data, prospects and current challenges of its use in Earth sciences and related fields in Republic of Armenia	20
---	----

GEOPHYSICS

Haroutiunian R.A. The destructive earthquakes of the 9th century in the Dvin (Armenia) revisited: quantity of events and their dating	40
--	----

NATURAL ENVIRONMENTAL

Sahakyan N.A., Mkrumyan A.S., Grigoryan G.R. Analysis of effects of the climate change in the context of climate justice in Debed river basin of the Republic of Armenia and public awareness about it	50
---	----

MEMORABLE DATES

Karakhanyan Arkadi Stepan (to 70 th anniversary)	59
--	----

SEISMOLOGY

**VOLCANO-TECTONIC SEISMICITY IN CONTINENTAL COLLISION
ZONE: EARTHQUAKE SWARMS IN GEGHAM VOLCANIC
RIDGE (ARMENIA)**

**Sargsyan L.S.^{1*}, Meliksetian Kh.B.¹, Metaxian J-P.^{2,3}, Levonyan A.F.¹,
Grigoryan E.S.¹, Toghramadjian N.⁴, Navasardyan G.Kh.¹, Manucharyan
D.A.¹, Gevorgyan M.R.¹ and Harutjunyan K.A.⁵**

¹*Institute of Geological Sciences, NAS RA, 24a M. Baghramian Ave.,
Yerevan 0019, Republic of Armenia*

²*ISTerre, IRD, CNRS, Université Savoie Mont Blanc, F-73376 Le Bourget du Lac, France,*

³*Institut de Physique du Globe de Paris, Université Sorbonne-Paris-Cité, CNRS, France,*

⁴*Department of Earth and Planetary Sciences, Harvard University, United States.*

⁵*Regional Survey for Seismic protection of the Ministry of Emergency situations of Armenia
E-mail: s.sargsyan.lilit@gmail.com*

Received by the Editor 22.01.2021

Abstract

In recent years, the rapid development of temporary as well as permanent seismic and GPS geodynamic monitoring networks in Armenia has facilitated the study of deformational processes in volcano-tectonically active regions in the Arabia-Eurasia continental collision zone. In this study, we analyze five seismic swarms which occurred from 2014-2018 within a dense cluster of Upper Pleistocene-Holocene monogenetic volcanoes and active faults in the Gegham Ridge Area of Armenia. No mainshocks have been identified in these earthquake swarms, which are distinguished by frequent occurrences within relatively short time spans. Recorded data was used to improve the location accuracy and to understand the current state of the stress field in the area.

We investigate possible links between these earthquake swarms and active magmatic or geothermal processes. Such studies of earthquake swarms in the Gegham Volcanic Ridge area further our understanding of the relationship between tectonic and volcanic processes, in turn contributing to the assessment of volcanic hazards for this area. Beyond natural hazard assessment, the volcanically young Gegham Ridge also holds great potential as a geothermal energy source. Thus, our interdisciplinary research yields diverse outcomes, spanning scientific, environmental, and energy applications.

Keywords: Gegham Volcanic Ridge, volcanic earthquakes, earthquake swarms, monogenetic volcanoes

INTRODUCTION

At the present moment, limited data is available on seismic swarms that occur within young monogenetic volcanic clusters located in continental collision zones. Furthermore, compared to volcanism associated with arcs and some intraplate settings, tectonic and tectono-magmatic causes of monogenetic volcanism in collisional settings remain poorly understood. This paper aims to address these gaps in knowledge, through the case study of active volcano-tectonic processes within the Gegham Volcanic Ridge (GVR) – a dense cluster of Quaternary monogenetic vents in Central Armenia. A series of seismic events, comprised of five distinct earthquake swarms, recently occurred within the GVR between 2014 and 2018, near the western part of Lake Sevan (tab. 1). These events occurred with relatively high frequency, often separated by only one to three days, during swarms lasting about 15 days. The swarms are spatially associated with young volcano clusters and active fault zones.

Table 1
Seismic swarms occurred in Gegham volcanic ridge, during 2014-2018.

Date	Number of events	Min. Magnitude (M_i)	Max.Magnitude (M_i)
June 2014	30	0.1	1.0
April 2015	180	0.5	3.4
March 2016	85	0.2	1.7
June 2017	43	0.1	1.0
June 2018	37	0.6	1.9

The permanent seismic network of the Institute of Geological Sciences of Armenian National Academy of Sciences (IGS) is an initiative implemented in close collaboration with the Department of Geosciences of National Taiwan University since 2012. Further development of the seismic network of IGS, data from which used in this paper, is related to Caucasus TRANSECT International project funded by US Department of Energy (32 temporary stations in Armenia, 2018-2022). Swarms listed in Table 1 are the first sequences reported since the installation of permanent seismic stations in the area.

In this study, we perform a detailed analysis of recent earthquake sequences within the GVR. Through precise location of these sequences, earthquakes can be linked to known geologic, volcanological, and seismotectonic local settings, allowing for more accurate interpretation of the observed seismic clustering. This study will facilitate development of conceptual models of active volcano-tectonic processes within the GVR. Geologic evidence indicates the possibility of future volcanic activity within the GVR, and that spatially distributed monogenetic volcanism within the ridge poses a significant threat to the infrastructure and population in the area, including the Yerevan, Ararat and Sevan basins (Meliksetian et al., 2015). Current seismological study, based on

detailed analyses of seismic swarms, is critical for estimating volcano-tectonic activity in the region.

GEOLOGICAL BACKGROUND

The Anatolian-Armenian-Iranian highlands represent a tectonically and volcanically active orogenic plateau, which formed through the continental collision of the Arabian and Eurasian tectonic plates during the Late Eocene to Early Miocene (~35–25Ma), and subsequent break-off of the north-dipping Southern Neo-Tethys oceanic slab beneath the Bitlis and Zagros sutures during the Mid to Late Miocene (~15–10Ma) (Keskin et al. 2003, Allen and Armstrong 2008, Zor 2008, van Hunen and Allen 2011, McQuarrie and van Hinsbergen 2013, Skolbeltsyn et al. 2014, Neill et al. 2015, Meliksetian et al. 2015). This activity resulted in orogenic uplift associated with long-term, widespread volcanism as seen today in Armenia which contains four Quaternary stratovolcanoes and 516 monogenetic vents and rhyolite domes within the country borders, ~30,000 km².

The tectonic setting of Armenia and the surrounding region is characterized by its SSW-NNE trending stress state linked to the ongoing N-NE movement of the Arabian Plate and interaction with the Eurasian plate (Allen and Armstrong, 2008, Philip et al., 1989). GPS data shows that the Arabian Plate moves northward at approximately 17mm/year (Reilinger et al. 2006, Vernant et al. 2004), (fig.1).

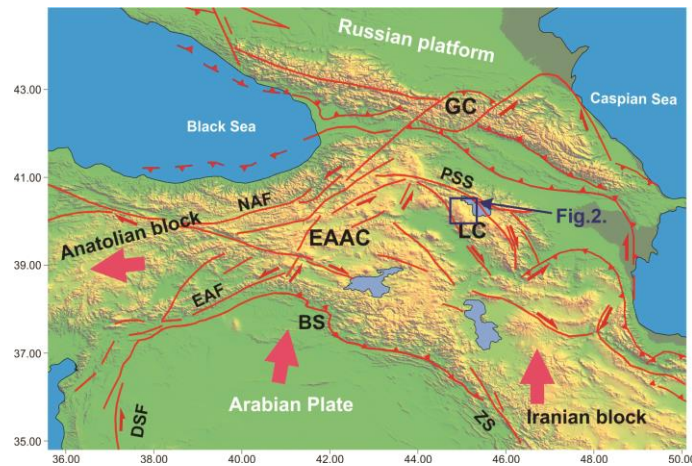


Fig.1. Tectonic units and faults in and around Armenia (after Karakhanyan et al., 2003, Philip et al., 1989, Avagyan et al., 2010). Key: North Anatolian fault (NAF), East Anatolian fault (EAF), Dead Sea fault (DSF), Bitlis suture (BS), Zagros suture (ZS), Pambak-Sevan-Syunik fault (PSS), Greater Caucasus (GC), East Anatolian accretionary complex (EAAC), Lesser Caucasus (LC). Blue square shows location of Gegham volcanic ridge and borders of the maps of fig. 2.

Internal deformation of the collisional plateau mostly occurs along strike-slip fault systems at rates of about ≤ 2 mm/yr (Karakhanyan et al. 2013). The regional seismicity in the Lesser Caucasus Range is represented by strike-slip

faulting with either reverse or normal slip components (Karakhanyan et al., 2004). Recent active deformation in the region, characterized by strike-slip tectonics, is locally associated with transpression or transtension (Ritz et al., 2015, Karakhanyan et al, 2017). The study area, Gegham Volcanic Ridge, is located between two segments of major active faults in Armenia: the Pambak-Sevan-Syunik Fault (PSSF) and the Garni Fault (GF) (fig.2). The PSSF—the major active fault system within the territory of Armenia—is an approximately 400-km-long NW-SE trending right-lateral strike-slip fault with a horizontal slip rate between 0.5 and 3mm/yr, based on current geological estimates, and within 2 ± 1 mm/yr, based on GPS measurements (Avagyan 2001, Philip et al. 2001, and Karakhanyan et al. 2013). The NW-SE trending Garni Fault is located W-SW of the GVR.

ACTIVE TECTONICS AND VOLCANISM OF GEGHAM VOLCANIC RIDGE

The tectonic setting described above provides a unique opportunity to study volcano-tectonic interactions within a dense cluster of monogenetic vents in a collisional setting, on regional, sub-regional and local scales. The GVR in central Armenia is one of the densest clusters of individual monogenetic volcanoes in the world. It contains 127 Quaternary volcanic vents (mostly Mid to Late Pleistocene and Holocene) within a 65-km long and 35-km wide oval-shaped area of $\sim 2100 \text{ km}^2$ (fig.2).

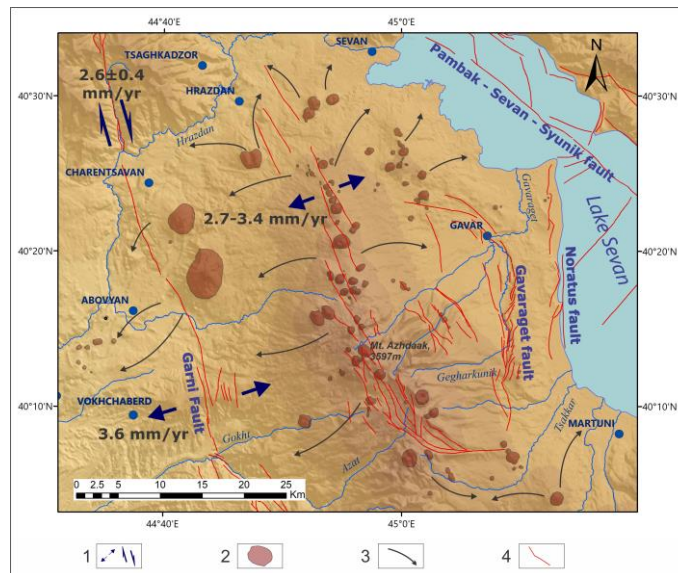


Fig.2. The volcano-tectonic setting of Gegham Volcanic Ridge (after Karakhanyan et al., 2004). 1. Strike-slip and GPS monitoring based extension rates; 2. Volcanoes; 3. Primary directions of basaltic-andesitic lava flows; 4. Active fault systems.

The orientation of volcano clusters within the GVR is largely NW-SE, perpendicular to the major regional SW to NE stress direction. Volcano-tectonic settings of the GVR are shown in fig.2, and suggest noteworthy links between observed seismic and volcanic activity. Karakhanyan et al. (2002) and Avagyan et al. (2005) relate Gegham Ridge volcanism to a pull-apart zone, formed between the PSSF and GF systems (fig.2).

Compositionally, Gegham Ridge volcanism varies from trachybasalts to rhyolites, while dacites are absent. Most monogenetic vents are trachybasaltic, basaltic-trachyandesitic and trachyandesitic in composition, and are characterized by strombolian to violent strombolian eruption types. Several rhyolitic domes exist within the ridge, namely Gutansar and Hatis in the west and Spitaksar and Geghasar in axial part. Volcanoes within axial part of the ridge exhibit clear alignment with the GVR crest, and range in elevation from 3200-3500m. The normal faults that dominate the Gegham ridge converge in a single zone south of the GVR, near the Armagan volcano (shown on fig 3, lava flow unit 2-9) and form a large "horsetail splay" structure (Karakhanyan et al. 2003).

The timing of volcanism within the GVR spans from the Late Miocene (Baghdasaryan and Ghukasyan, 1985) through the Holocene, with the most recent indication of volcanic activity dating back to 4500-4400 BP (Karakhanyan et al. 2003, Karakhanyan et al. 2002) or 3450 BP (Avagyan et al., 2020). It is noteworthy that in the late Miocene to Early Pliocene, a large caldera complex existed within the current GVR, as is demonstrated by the presence of the Vokhchaberd volcanoclastic suite, which is up to 500m thick in some locations. Later, during the Quaternary period, the GVR transformed into a dense cluster of spatially distributed monogenetic vents, and the area was covered by sequences of lava flows (fig.3). Such a transition from stratovolcano to monogenetic activity may indicate changes in local tectonic settings and the conditions of magma generation. Many generations of extended lava flows, Mid-Upper Pleistocene in age, originated from volcanoes in the GVR. They are distinct throughout the canyons of Hrazdan and Azat rivers, and in the western part of Lake Sevan.

ACTIVE FAULTS OF GEGHAM VOLCANIC RIDGE

On the western shore of Lake Sevan, the Gavaraghet fault system is oriented NNW-SSE and consists of three major normal faults branches, each with a length of 25-30 km (fig.2), as well as horst and graben structures (Karakhanyan et al. 2016).

The Gavaraghet Fault stretches from the town of Gavar in the north to Gegharkunik village in the south. South of Gavar, the fault splits into two branches – the western Saroukhan-Lanjakhpiur branch and the eastern Karmirgiugh branch. South of Gegharkunik village, these two branches merge. This fault zone geometry creates a meridian-elongated structure of ramp-graben type.

Motion along the fault kinematically corresponds to normal faulting with a small strike-slip component, where the fault changes its orientation with respect to the regional stress field (Karakhanyan, et al. 2016, Avagyan, 2017). Maximum vertical displacements of up to 200m have been recorded on the eastern branch. Data from GPS monitoring conducted in the area has provided preliminary results indicating extension at rates of 2.75-3.4mm/yr in the central cluster of the GVR, and 3.6mm/yr along the Garni Fault of the neighboring

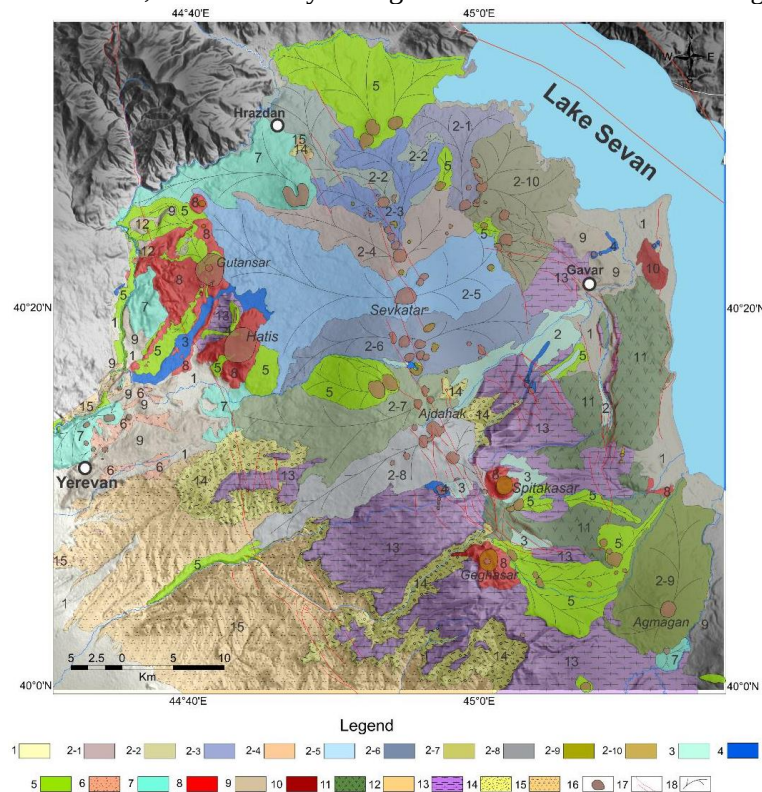


Fig.3. Volcanological map of Gegham Volcanic Ridge (by K. Karapetyan, S. Karapetyan, G. Navasardyan; active faults are from Karakhanyan et al., 2017). Legend: Upper Pleistocene-Holocene. 1. Alluvial and colluvial sediments. 2. Basaltic trachyandesites, trachyandesites. 2-1. Lava flow of Norashenik. 2-2. Lava flows of Tsluglukh and Srbisar volcanoes. 2-3. Lava flows of Kond, Vardanasar and etc. volcanoes. 2-4. Lava flows of Mazaz and Karmratumb volcanoes. 2-5. Lava flow of Sevkatar volcano. 2-6. Lava flows of Aknocasar and Lodochnikov volcanoes. 2-7. Lava flow of Aghusar volcano. 2-8. Lava flows of Azhdahak and Nazeli volcanoes. 2-9. Lava flow of Agmagan. 2-10. Lava flows of group Eratumber volcanoes. Upper Pleistocene. 3. Glacial and fluvioglacial deposits. 4. Trachybasalts, basaltic trachyandesites, trachyandesites. Middle Pleistocene. 5. Basaltic trachyandesites, trachyandesites. 6. Ignimbrite tuffs of Yerevan-Gyumri type. Lower Pleistocene. 7. Trachybasalts, basaltic trachyandesites, trachyandesites. 8. Trachydacites and rhyolites of Gutansar, Hatis, Spitakasar, Geghasar. Upper Pliocene. 9. Doleritic basalts, trachybasalts. 10. Volcanogenic formation. Suite of Noratus. 11. Basaltic trachyandesites, trachyandesites of Manichar lava flow. Lower Pliocene. 12. Rhyolites of Avazan, Gyumush and etc. volcanoes. 13. Basaltic trachyandesites, trachyandesites, trachytes (Gegham suite). Lower Pliocene-Upper Miocene. 14. Volcanic deposits (Vokhchaberd suite). Pre - Upper Miocene. 15. Volcano-sedimentary rocks: sandstones, tuff breccia, limestones, andesite lava flows. 16. Volcanic centers. 17. Active faults. 18. Directions of lava flows.

western cluster (fig.2). This suggests that the total rate of recent extension for the Gegham pull-apart basin should be within a range of 6.35 to 7mm/yr, which is the highest rate recorded for any structure in Armenia. Vertical slip rates along the Karmirgiugh branch of the Gavaraghet Fault range from 6-9mm/yr according to geological estimates (Karakhanyan et al., 2013; Doerflinger, et al 1999, Davtyan, 2007).

RECENT SEISMIC ACTIVITY

There are two historical earthquakes relevant to this area: the M6.2 Noratus earthquake of 1226/1227 AD and the M6.6 Vardenis earthquake of 1321/1322 AD. Both are likely associated with the Gavaraghet fault system (Karakhanyan et al., 2011). Among more recent seismic events are the Gavar earthquakes of 1905 and 1909, with magnitudes of M3.8 and M4.7 respectively. Their records have been preserved through local historical sources.

In this study, we consider seismic events from the catalogues of IGS and RSSP (Regional Survey for Seismic Protection of the Ministry of Emergency situations of Armenia) that fall within the GVR study area (fig.4) and compile a catalog of 566 events that occurred within the study area during the early instrumental period (1930-1962) and instrumental period (1962-present time). During the studied period, the GVR study area shows a generally diffuse distributions of weak earthquakes, and clear clusterings of weak earthquake epicenters within the vicinities of active faults and volcanoes (fig.4).

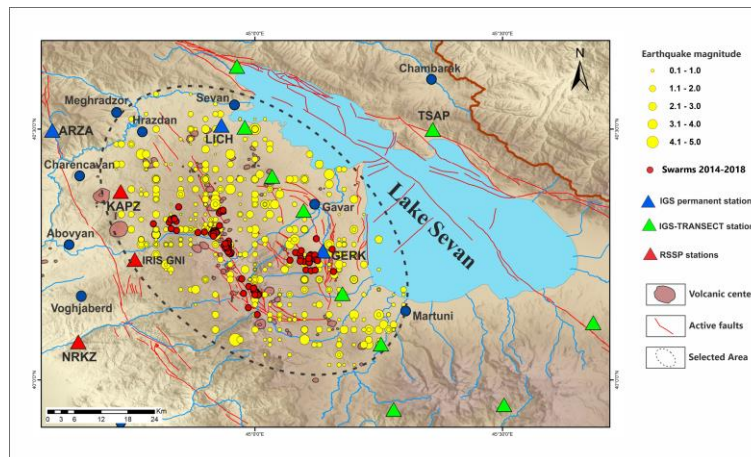


Fig.4. Distribution of seismicity from 1962 to 2018 in the Gegham Volcanic Ridge area. The dotted ellipse marks the study area.

A "swarm" of small ($M_l < 3.5$) earthquakes that occurred in this region in January 2007 were classified as aftershocks of a prior $M_l = 3.7$ event (Sargsyan, 2015). According to the MSK-64 scale, the mainshock was of intensity 5-6, was felt in Gavar, and generated minimal damage. It is considered to be the first reported evidence of seismic sequences within this region.

With the modernization and installation of new seismic stations by the RSSP (12 stations, since 2010) and IGS (13 stations, since 2012, 32 stations since 2018) in Armenia and particularly in the Lake Sevan area, the capability to record seismic activity has greatly increased as shown in fig.5 and 6, which represent magnitude cutoff values over time, based on instrumental capabilities.

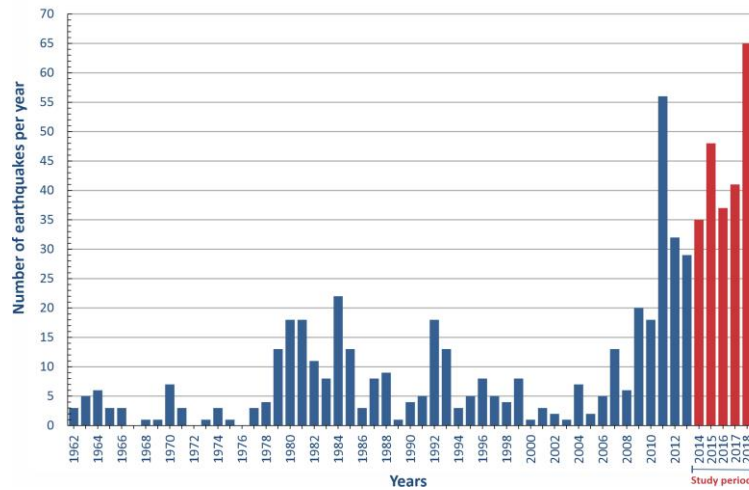


Fig.5. Time histogram of recorded earthquake frequency in the Gegham Volcanic Ridge study area from 1962 to 2018.

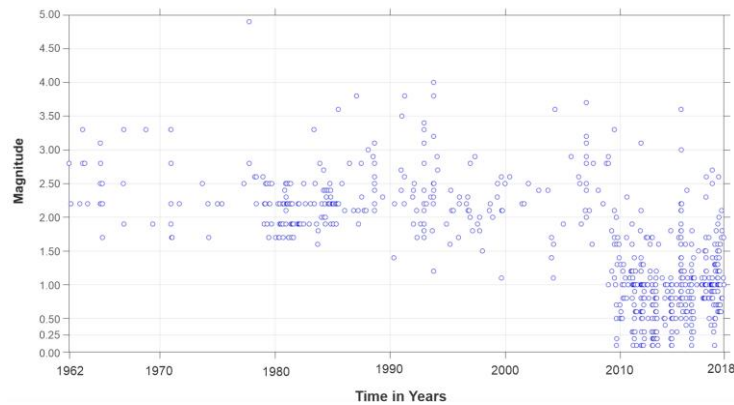


Fig.6. Time-magnitude distribution of earthquakes recorded in the Gegham Volcanic Ridge study area from 1962 to 2018.

In western Sevan, 15 earthquakes were reported from 1962 to 2012, while over 60 earthquakes have been reported from 2012 to 2018 (fig.5). The installation of the Gegharkunik (GERK) station in 2014 improved the location precision of the small earthquakes including the seismic swarms analyzed in the next section (fig.6 and 7).

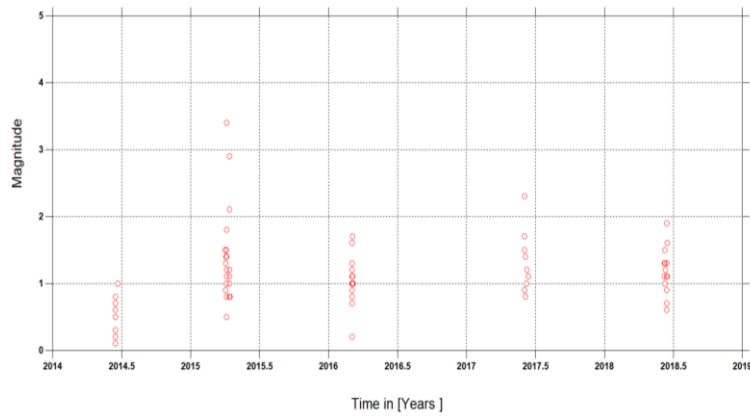


Fig.7. Time-magnitude distribution of swarms recorded in the Gegham Volcanic Ridge study area from 2014 to 2018.

SEISMIC DATA ANALYSIS

Several sequences of earthquakes occurred in the GVR area from 2014 to 2018 ($0.1 < M_l \leq 3.6$). Most of the earthquakes were recorded only by the nearest station, GERK. Figure 9 shows a typical earthquake recorded in the GVR area during the 2015 swarm. Low signal-to-noise ratios of weak events and large azimuthal gaps between stations exceeding 150 degrees are not optimal for the qualitative location of most hypocenters. Manual picking of P- and S-wave arrival times was performed for all events recorded by one or more stations. As an example, fig.10 shows P and S phases for the same M_l 1.4 earthquake recorded in 2015 shown in fig.9. The local velocity model used in this study, is composed of four layers (tab.2). The first layer is 7km thick with $V_p = 5.6$ km/s, and the V_p/V_s ratio is assumed to be 1.78 (for this region), but is noteworthy, that according to another tomography model for north/central Armenia V_p/V_s ratio for Gegham ridge is 1.9-2.1 (Lin et al. 2020)

Table 2
Local velocity model used for locating low-magnitude earthquake swarm events.

<u>Thickness interval (H), km</u>	<u>Vp (km/s)</u>
0.00	5.60
7.00	6.40
18.45	6.68
47.00	7.40

With the local velocity model, of the more than 400 weak earthquakes that occurred from 2014 to 2018, only 83 could be successfully located using Hypo71PC software (Lee, 1971, Lee and Valdes, 1985). The spatial distribution of located epicenters strongly corresponds with the areas of volcanism and active faulting observed within GVR (fig.4 and 11). The RMS travel time error

values obtained after manual picking and location were less than 0.16s. The accurately located hypocenters, obtained by a minimum of three stations, largely occur with focal depths of up to 8 ± 5 km. The remaining events could not be located due to the poor signal-to-noise ratios, or mainly because of having been recorded by less than 3 stations. The waveform features of the recorded earthquakes and the significant variation in the P and S-wave time delays (from 0.1-0.8 s) indicate that the GVR subsurface is laterally inhomogeneous. The GVR subsurface is also characterized by non-uniformly distributed V_p/V_s velocity ratio values (Lin et al, 2020). The seismic record shows similar waveforms for different events within the same cluster, suggesting that such earthquakes come from the same location and are generated by identical source mechanisms (fig.8). In fig.9 are shown the spectrogram of individual event recorded by Gekharkunik Station. Figure 11 shows maps and vertical cross-sections of the earthquake swarms that occurred within the GVR from 2014-2018:

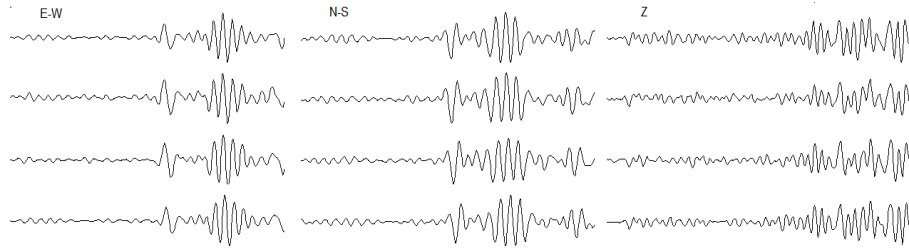


Fig.8. Similarities between waveforms for selected representative earthquakes of the seismic swarm recorded by GERK.

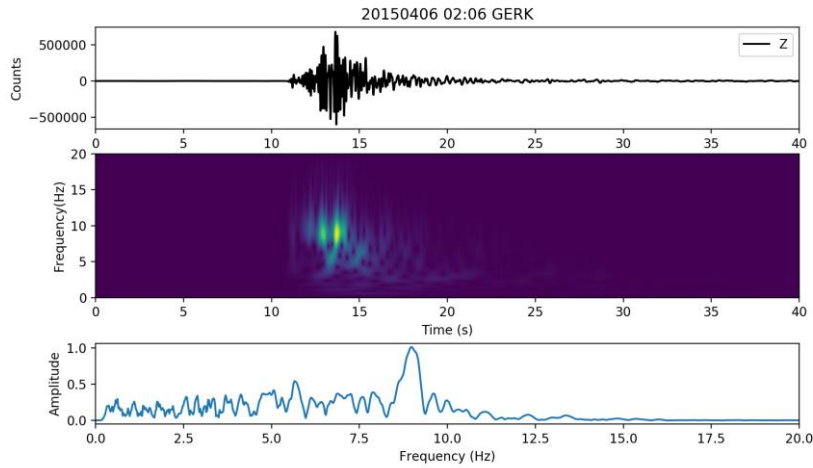


Fig.9. Waveform, spectrogram and spectrum for a selected representative earthquake of the 2015 seismic swarm recorded by GERK (Ml=1.4).

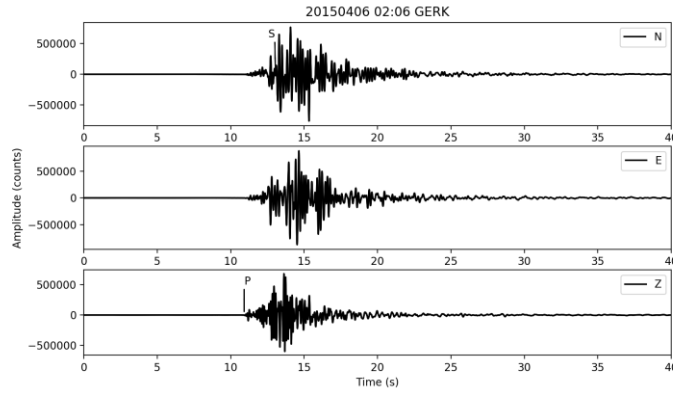


Fig.10. Phase picking of the selected representative earthquake recorded by GERK station. In this case, S-P is 1.6 sec.

- The June 2014 swarm with more than 30 events (located 14 EQs, M_L 0.1-1.0), which occurred over the course of several days in the northern part of GVR near Ashtarakner volcano, marks the first seismic activity recorded since the installation of the GERK station in 2014. The depth range for this recorded activity is 4 to 14 km, with the majority of events occurring at depths greater than 10 km.
- In April 2015, a swarm occurred in the southern part of the GVR, 1.6-5km from Sahakasar and Mesropasar volcanoes and near the graben-like structure associated with Gavaraghet fault. This swarm featured over 180 events within a span of 15 days, as recorded by the nearest GERK station (located 38EQs, M_L 0.5-3.4). Most waveforms from this swarm have clear P- and S-wave onsets and relatively low frequencies. The sources were found to be very shallow, between 1 and 8 km deep.
- Another swarm occurred in March 2016 along the GVR axis, near the Lchayin, Lodochnikov and Sevkatar volcanic centers. This swarm included over 85 events of magnitude M_L 0.2-1.7 (located 19EQs). In this case, the hypocentral depths ranged from 12 to 16 km.
- The June 2017 swarm included more than 43 events of magnitude $M_L < 1.0$. (located 13EQs, M_L 0.1-1.0) occurred in the western axis of the GVR. Here, hypocenter depths ranged from 7 to 19 km.

The most recent swarm occurred in June 2018 with more than 37 events (located 17EQs, M_L 0.6-1.9) along the GVR axis, near Azhdahak and Tar volcanic centers. Hypocenter depths ranged from 14 to 20km.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

A good understanding of the prevailing seismicity that occurs in the GVR area is critical for determining the stress field of the region. As mentioned in the introduction, this region's geological evolution is highly complex. Today, this is

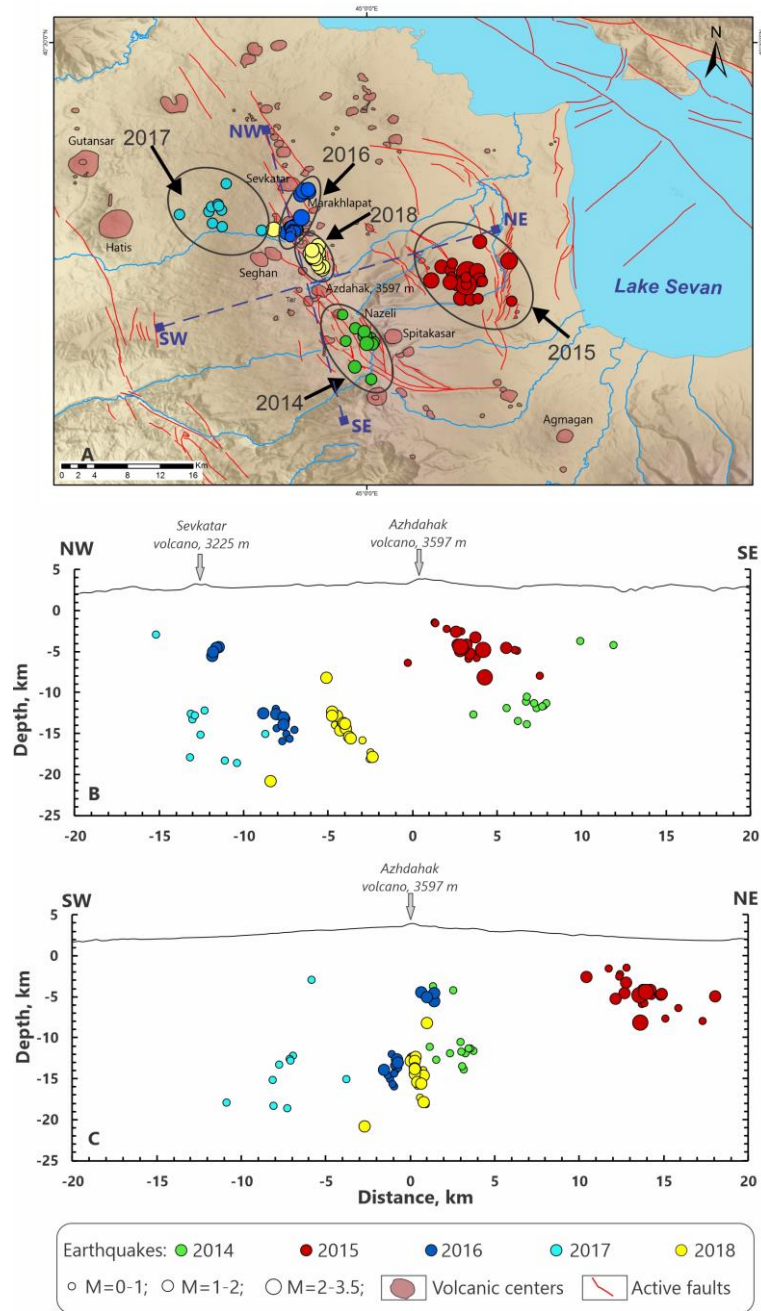


Fig.11. Map (A) and cross-sections (B, C) showing seismic swarms that occurred in 2014-2018 within Gegham Volcanic Ridge, which are located using seismic networks of IGS and RSSP and investigated in this study. A: Map of GVR with colored circles showing 2014-2018 swarm event locations, as well as volcanoes and active faults. Marker size corresponds to magnitude. Dark blue squares show endpoints of NW-SE and SW-NE cross-sections. B: Vertical cross-section along NW-SE profile, depicting projected hypocenters of seismic swarms. C: The same, for SW-NE profile.

indicated by the morpho-tectonic topographies and dense clustering of monogenetic volcanic centers seen at the surface. The accurately located hypocenters appear to have occurred near both clusters of monogenetic volcanic centers and the active Gavaraghet fault system. The relatively deeper (12-16km), smaller-magnitude events appear to preferentially occur near volcanoes (observed in the 2016 and 2018 swarms); the shallower (1-8km), higher-magnitude earthquakes (including the strongest event across all swarms, an M13.4 earthquake in 2015) seem to cluster within the Gavaraghet fault area.

Furthermore, very clear similarities are observed within 2015 swarm family of earthquakes, both in waveform patterns, and in spectrograms of distinct events within the swarm recorded by the same station.

Previous studies discussed above suggest that the current stress field in the study area is extensional. Observations of continuous GPS stations indicate that velocity directions, varying between 2.5 and 3.5mm/yr, follow the Garni Fault in a southeast orientation. This results in a compressive stress field that triggers the reactivation of normal faulting in the area near the volcanic ridge (where the pre-existing faults zones are associated with normal faulting).

Seismic observations and analysis of such tectonic settings, paired with local and regional geologic information, suggest that the recent seismic swarms identified within the axial part of the Gegham Volcanic Ridge could be attributed to volcano-tectonic seismicity as most of it occurred nearby recent volcanic centers. On active volcanoes VT seismicity is commonly recorded prior and during eruptions. Last volcanic activity at Gegham ridge occurred ~3.4Ka (Avagyan et al., 2020), or 4.5-4.4Ka, (Karakhanyan et al., 2002), and estimations of recurrence rates of monogenetic Upper Pleistocene-Holocene volcanism is ranging $3.1-5.7 \times 10^{-4}$ per year (Meliksetian, 2018), that corresponds to average of one eruption per every 1754-3225 years. Although monogenetic eruption episodes are obviously not uniformly distributed through time and are usually grouped in active periods with frequent eruptions divided by intervals of hiatus. The question here is whether this seismicity is linked to purely tectonic movements and if so, how to explain recurrent tectonic activity near dense monogenetic volcanic clusters.

A second hypothesis is the existence of hydrothermal processes involving an interaction between groundwater and active magmatic zones generating internal overpressures. In this case an important question is the origin of the magma, if it is resulting from past eruptions or represents new intrusions of magma at depths. In this hypothesis, observed seismic processes may include stresses associated with dyke propagation at depths up to 15 km beneath the ridge, or hydrothermal processes resulted from residual heat from existing magma chamber from the past episodes of volcanism. We cannot answer these questions at this stage of our study. A more in-depth study of the spatial and temporal migration of the seismicity as well as a detailed study of the rupture mechanisms appears to be necessary. As pointed by Roman and Cashman (2006), the analysis of VT fault-plane solutions and their comparison with

regional stresses can reflect pressurization of the mid-level conduit system in case of presence of magmatic fluid. This kind of study would be useful to better understand the dynamics of the seismogenic and possibly magmatic systems which are producing the observed seismic swarms. A recent study of crustal Vp/Vs ratio beneath the Armenian Volcanic Highland of the Lesser Caucasus by P-wave receiver functions method revealed extremely high Vp/Vs ratios (1.90–2.15) localized beneath Aragats stratovolcano and Gegham volcanic ridge (Lin et al., 2020). The presence of magmatic fluids is therefore plausible and must be taken into account into the analysis of the seismicity observed in this region.

Based on preliminary results investigated in this study, we propose to monitor Gegham volcanic ridge with more seismic stations and increase density of seismic stations in the region and apply regional seismic tomography to image the structure beneath Gegham Volcanic Ridge.

ACKNOWLEDGMENTS

We gratefully acknowledge our colleague Dr. Sos Margaryan, acting head of Regional Survey for Seismic Protection of the Ministry of Emergency Situations of Armenia, for providing us with data from Kaputan and Narek seismic monitoring stations from 2014-2018. Furthermore, special thanks go to Joseph Cross, a volunteer of the Laboratory of Volcanology of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of the Republic of Armenia, for providing editorial guidance during the preparation of this paper. Part of the field work and research were supported by base funding of the Institute of Geological Sciences (IGS). Seismic data was used from seismic networks of IGS installed in framework of collaboration with the Department of Geosciences of National Taiwan University (since 2012) and Caucasus TRANSECT international project (since 2018) as well as by Regional Survey for seismic protection, of the Ministry of Emergency situations of the Republic of Armenia.

We gratefully acknowledge two reviewers: Dr. Rocco Malservisi (University of South Florida, USA) and Dr. Sci. Eduard Geodakyan (Institute of Geophysics and Engineering seismology, Gyumri, Armenian NAS whose comments and suggestions significantly improved the manuscript.

REFERENCES

- Меликсетян Х.Б.** 2018. Генерация коллизионных магм на примере четвертичного вулканизма территории Армении и вулканическая опасность, дисс. на соискание ученой степени д.г.н., Ереван, Фонды ИГН НАН РА.
- Allen, M.B., Armstrong, H.A.** 2008. Arabia-Eurasia collision and the forcing of mid Cenozoic global cooling. *Paleontology, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 265, p.52-58.
- Avagyan A.** 2001. Estimation of the slip rates and the recurrence intervals of strong earthquakes on the fault system of Pambak-Sevan-Sunik (Armenia): Segmentation and relation with volcanic activity. PhD Thesis, Montpellier II University, France, p.246.
- Avagyan A., Sahakyan L., Atalyan T., Hovakimyan A., Tozalakyan P.** 2017. New Tectonic Data on Noratus-Kanaguegh Active Faults Extension. *Earth Sciences, NAN RA*, 70, Num 1, p.60-75.

- Avagyan A., Sahakyan L., Meliksetian Kh., Karakhanyan A., Lavrushin V., Atalyan T., Hovakimyan H., Avagyans., Tozalakyan P., Shalaeva E., Chatainger Ch., Sokolov S., Sahakov A., Alaverdyan G.** 2020. New evidences of Holocene tectonic and volcanic activity of the western part of Lake Sevan (Armenia). *Geological Quaterly*, 64 (2), p.43-58.
- Avagyan, A., Sosson, M., Karakhanian, A., Philip, H., Rebai, S., Rolland, Y., Melkonyan, R., and Davtyan, V.** 2010. Recent tectonic stress evolution in the Lesser Caucasus and adjacent regions, *in* Sosson, M., Kaymakci, N., Stephenson, R.A., Bergerat, F., and Starostenko, V., eds., *Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform*: Geological Society, London, Special Publication 340, p.393–408.
- Avagyan, A., Sosson, M., Philip, H., Karakhanian, A., Rolland, Y., Melkonyan, R., Rebai, S., and Davtyan, V.** 2005. Neogene to Quaternary stress field evolution in Lesser Caucasus and adjacent regions using fault kinematics analysis and volcanic cluster data: *Geodinamica Acta*, v. 18, no. 6, p.401–416.
- Davtyan, V.** 2007. Active Faults of Armenia: Slip Rate Estimation by GPS, Paleoseismological and Morpho-Structural Data [Ph.D. thesis]: Montpellier, Montpellier II University, France, p.244.
- Karakhanian A., Jrbashyan R., Trifonov V., Philip H., Arakelian S., Avagyan A., Baghdassaryan H., Davtian V., Ghoukassyan Y.** 2003. Volcanic hazards in the region of the Armenian nuclear power plant. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 126(1-2), p.31-62.
- Karakhanian A., Jrbashian, R., Trifonov V., Philip H., Arakelian S., and Avagian A.** 2002. Holocene-historical volcanism and active faults as natural risk factor for Armenia and adjacent countries: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 113, no. 1–2, p.319–344.
- Karakhanyan A., Arakelyan A., Avagyan A., Sadoyan T.** 2017. Aspects of the seismotectonics of Armenia: New data and reanalysis. *in* Sorkhabi, R., ed., *Tectonic Evolution, Collision, and Seismicity of Southwest Asia: In Honor of Manuel Berberian's Forty Years of Research Contributions*: Geological Society of America Special Paper, 525-15, p.455-478
- Karakhanyan A., Arakelyan A., Avagyan A., Baghdasaryan H., Durgaryan R., and Abgaryan Ye.** 2011. The Seismotectonic Model, Seismic Hazard Assessment for the Construction Site of a New Power Unit of the Armenian NPP: “NorAtom” Consortium Final Report: Yerevan, Armenia, Ministry of Energy of the Republic of Armenia, and Vienna, International Atomic Energy Agency, p.328.
- Karakhanyan A., Vernant P., Doerflinger E., Avagyan A., Philip H., Aslanyan R., Champollion C., Arakelyan S., Collard, P., Baghdasaryan H., Peyret M., Davtyan V., Calais E., and Masson F.** 2013. GPS constraints on continental deformation in the Armenian region and Lesser Caucasus: *Tectonophysics*, v. 592, p.39–45.
- Lee W.H.K. and Valdés C.M.** (1985) HYPO71PC: A Personal Computer Version of the HYPO71 Earthquake Location Program. U.S. Geological Survey, Open-File Report, p. 85-749.
- Levonyan A., Sarsgayan L., Sahakyan E., Durgaryan R.** 2014. The geodynamic network and seismic observation in ISG, Modern Methods of Processing and Interpretation of Seismological Data, Geophysical Survey of RAS, Obninsk, p.205-209.
- Lin C.-M., Tseng T.-L., Meliksetian Kh., Karakhanyan A., Huang B-Sh, Babayan H., Hu J.-C., Gevorgyan M., Chang Sh.-F., Levonyan A.** 2020. Locally Thin Crust and High Crustal VP/VS Ratio Beneath the Armenian Volcanic Highland of the Lesser Caucasus: A Case for Recent Delamination, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, v.125, issue 9, p.1-16, 125, e2019JB019151.
- Meliksetian Kh., Connor Ch., Savov I., Connor L., Navasardyan G., Manucharyan D., Ghukasyan Y., Gevorgyan H.** 2015. Conceptual model of volcanism and volcanic hazards of the region of Ararat valley, Armenia. EGU General Assembly. Austria, Geophysical Research Abstracts vol. 17, EGU 2015-11230.
- Philip H., Avagyan A., Karakhanian A., Ritz J.-F. & Rebai S.** 2001. Estimating slip rates and recurrence intervals for strong earthquakes along an intracontinental fault: example of the Pambak-Sevan-Sunik fault (Armenia). *Tectonophysics*, 343, p.205-232.
- Phillip H., Cisternas A., Gvishiani A. Gorshkuv A.** 1989. The Caucasus: an actual example of the initial stages of continental collision. *Tectonophysics*, v. 161(1- 2), p.1–21.
- Reilinger R., McClusky S., Vernant P., Lawrence S., Ergintav S., Cakmak R., Ozener H., Kadirov F., Guliev I., Stepanyan R., Nadariya M., Hahubia G., Mahmoud S., Sakr K.,**

- Abdullah ArRajehi, Paradissis D., Al- Aydrus A., Prilepin M., Guseva T., Evren E., Dmitrotsa A., Filikov S.V., Gomez F., Al-Ghazzi R., and Karam, G.** 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions: *Journal of Geophysical Research–Solid Earth*, v. 111, no. B5, p.1–26.
- Ritz J.-F., Avagyan A., Mkrtchyan M., Nazari H., Blard P.-H., Karakhanyan A., Philip H., Balescu S., Mahan S., Huot S., Munch P., and Lamothe M.** 2015. Active tectonics within the NW and SE extensions of the Pambak-Sevan-Syunik fault: Implications for the present geodynamics of Armenia: *Quaternary International*, v. 395, p.61–78.
- Roman, D. C., K. V. Cashman.** 2006. The origin of volcano-tectonic earthquake swarms. *Geology* 34 (6): 457–460.
- Sargsyan L., Abgaryan G.** 2013. Gavar Earthquake 12 January 2007, *Earthquakes of Northern Eurasia 2007*; Obninsk, RAN, , p.320-325.
- Vernant P., Nilforoushan F., Hatzfeld D., Abbassi M.R., Vigny C., Masson F., Nankali H., Martinod J., Ashtiani A., Bayer R., Tavakoli F., and Chéry J.** 2004. Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman: *Geophysical Journal International*, v. 157, no. 1, p.381–398.
- Zoback M.L., Zoback M.D.** 1980. State of stress in the Conterminous United States. *J. Geophys. Res.*, 85, p.6113-6156.

**ՄԱՅՐՅԱՄԱՔԱՅԻՆ ԿՈՒՆԻՍԵՍԻ ԳՈՏՈՒՄ ՀՐԱՔԽԱՏԵԿՏՈՆԱԿԱՆ
ՍԵՑՄՍԻԿՈՒԹՅՈՒՆ. ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԵՐԻ ՊԱՐՄԵՐ ԳԵՂԱՄԻ
ՀՐԱՔԽԱՅԻՆ ԼԵՈՆԱՇՂԹԱՅՈՒՄ (ՀԱՅԱՍՏԱՆ)**

**Սարգսյան Լ.Ս., Մելիքսեթյան Խ.Բ, Մետաքսյան Ժ.-Ֆ., Լեվոնյան Ա.Ֆ.,
Գրիգորյան Է.Ս., Թոքրամաջյան Ն., Նավասարդյան Գ.Խ.,
Սանուչարյան Դ.Ա., Գևորգյան Մ.Ռ. և Հարությունյան Կ.Ա.**

Ամփոփում

Հայաստանում վերջին տարիներին ժամանակավոր, ինչպես նաև մշտական սեյսմիկ և GPS գեոդինամիկ մոնիթորինգային ցանցերի արագ զարգացումն ու լայն տարածումը մեծ դեր ունեցան Արաբական և Եվրասիական մայրցամաքային սալերի բախման գոտում հրաբխա-տեկտոնական ակտիվ պրոցեսների ուսումնասիրությունների համար:

Այս աշխատանքում իրականացվել են Գեղամի հրաբխային լեռնաշղթայի տարածքում տեղի ունեցած հինգ սեյսմիկ պարսերի վերլուծություններ, որոնք գրանցվել են 2014-2018թթ-երի ընթացքում Վերին Պլեյստոցեն-Հոլոցեն մոնոգեն հրաբուխների և ակտիվ խզվածքների խիտ կլաստերում: Գրանցված երկրաշարժերի պարսերի ժամանակ որևէ «հիմնական ցնցում» չի առանձնացվում, դրանք բնությազրկում են համեմտաբար կարճ ժամանակահատվածում հաճախակի գրանցվող թույլ ցնցումներով: Սեյսմիկ կայաններից ստացված տվյալներն օգտագործվել են երկրաժարժերի էպիկենտրոնների տեղադիրքերի ճշտությունը մեծացնելու և այդ գոտում առկա լարվածային դաշտի ներկա վիճակը գնահատելու համար: Խիստ կարևորվում է, վերջին տարիներին գրանցված երկրաշարժերի պարսերի և ակտիվ հրաբխային կամ գեոթերմալ պրոցեսների միջև հնարավոր կապի բացահայտման և ուսումնասիրմանն ուղղված հետազոտությունները: Գեղամի հրա-

բխային լեռնաշղթայում գրանցվող սեյսմիկ պարսերի նման հետազոտությունները թույլ կտան հասկանալու և գնահատելու տեկտոնական և հրաբխային պրոցեսների միջև հարաբերակցությունը, ինչն էլ իր հերթին կնպաստի այս տարածքում հրաբխային վտանգի գնահատման աշխատանքներին: Գեղամի հրաբխային լեռնաշղթան մեծ պոտենցիալ ունի նաև որպես գեոթերմալ էներգիայի աղբյուր և հետևաբար մեր հետազոտությունները թույլ կտան իրականացնել այնպիսի ուսումնասիրություններ, որոնց արդյունքները կիրառելի են ինչպես գիտական, այնպես էլ բնապահպանական տեսանկյունից:

ВУЛКАНО-ТЕКТОНИЧЕСКАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ В ЗОНАХ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОЛЛИЗИИ: РОИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ГЕГАМСКОГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО ХРЕБТА (АРМЕНИЯ).

**Տարգսյն, Լ.Տ., Մելիկսեյն, խ.Բ., Մետախյն Զ-Փ., Լեւոնյն Ա.Փ.,
Դրիգորյն Յ.Տ., Տոգրամաձյն Ո., Նավասարձյն Դ.Ճ., Մանուչարյն Դ.Ա.,
Դեւորգյն Մ.Ր. և Արությոնյն Կ.Ա.**

Резюме

В последние годы быстрое развитие сейсмических и GPS геодинимических мониторинговых сетей в Армении способствовало изучению деформаций в активных вулканотектонических регионах в зоне континентальной коллизии Аравии и Евразии. Данное исследование посвящено анализу пяти роев землетрясений произошедших в течение 2014-2018гг. в пределах Гегамского вулканического хребта в Армении, в районе плотного кластера верхне-плейстоцен-голоценовых моногенных вулканов и активных разломов. В этих роях землетрясений, отличающихся частыми толчками, произошедшими в относительно короткие промежутки времени, не было выявлено «основных толчков». Записи землетрясений были использованы для повышения точности определения эпицентров и гипоцентров толчков и понимания текущего состояния поля тектонического напряжения в этом районе.

Цель исследований состоит в изучении возможной связи между этими роями землетрясений и активными магматическими или геотермальными процессами. Такие исследования роев землетрясений в районе Гегамского вулканического хребта способствуют пониманию взаимосвязи между тектоническими и вулканическими процессами, что, в свою очередь, содействует оценке вулканической опасности в регионе. Помимо оценки природных опасностей, молодой вулканизм Гегамского хребта также имеет большой потенциал в качестве источника геотермальной энергии. Таким образом, приведенные междисциплинарные исследования могут иметь различные приложения как научные, так в области охраны окружающей среды.

**ՄԵԾ ՏՎՅԱԼՆԵՐ, ԵՐԿՐԻ ՄԱՍԻՆ ԵՎ ՈՐՈՇ ՀԱՐԱԿԻՑ
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐՈՒՄ ԴՐԱՆՑ ԿԻՐԱՌՄԱՆ ՀԵՌԱՆԿԱՐՆԵՐԸ ԵՎ
ԱՐԴԻ ԽՆԴԻՐՆԵՐԸ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅՈՒՆՈՒՄ**

**Ավագյան Ա.Ա.¹, Ասցատրյան Հ.Վ.², Առաքելյան Ա.Ա.¹, Տարասյան Ն.Հ.¹,
Ներսիսյան Ա.Հ.¹**

*ՀՀ ԳԱԱ Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտ,
0019, Երևան, Մարշալ Բաղրամյան պ. 24ա,
Էլ. հասցե՝ arshavir.avagyan@gmail.com
ՀՀ ԳԱԱ Ինֆորմատիկայի և ավտոմատացման պրոբլեմների ինստիտուտ,
0014, ք. Երևան, Պ. Մկաչ 1,
Էլ. հասցե՝ hrach@sci.am
Հանձնվել է խմբագրություն 13.11.2020թ.*

Հոդվածում քննարկվում է Երկրի դիտարկման մեծ տվյալների խորանարդի կիրառության միջազգային փորձը և դրա օգտագործման կարևորությունը Հայաստանի բնական գիտությունների խնդիրներում: Ներկայացվում են հեռահար զոնդավորման (ՀՁ) ժամանակակից միջոցներով Երկրի դիտարկման մեծ տվյալների օգտագործման հիմնական ուղղությունները, ինչպես նաև դրանց օգտագործմամբ երկրաբանության, բնական և մարդածին վտանգների, շրջակա միջավայրի, բնական՝ հողային և ջրային ռեսուրսների ուսումնասիրության օրինակներ:

Տվյալների խորանարդը (ՏԻՆ) նոր պարադիգմ է: Այն հայկական ազգային էլեկտրոնային ենթակառուցվածքների միջավայրում իրականացվել է շվեդ-գարահայկական միջազգային համատեղ նախաձեռնության արդյունքում և հնարավորություն է տալիս լուծել Երկրի մասին և հարակից գիտությունների մի շարք արդիական խնդիրներ:

Հանգուցային բառեր. մեծ տվյալներ, տվյալների խորանարդ, երկրի դիտարկում, հեռահար զոնդավորում, բնական վտանգ, Sentinel, Landsat.

Ներածություն

Մեծ տվյալների (ՄՏ) տեխնոլոգիաները, մեթոդները և դրանց կիրառումն այժմ ունեն լայն տարածում և զարգանում են արագացող քայլերով: Երկրի դիտարկման մեծ տվյալներն (ԵԴՄՏ) այդ ընդհանուր ուղղության էական և լայնորեն տարածված ասպարեզներից է: Այն սկիզբ է առել անցյալ դարի երկրորդ կեսին մեկնարկած երկրի հեռահար զոնդավորման առաջին քայլերից, որոնց արդյունքները լիովին

օգտագործվել են երկրաբանական, աշխարհագրական և շրջակա միջավայրի գիտական հետազոտություններում, ինչպես նաև տարբեր գործնական նպատակներով: Մակայն «մեծ տվյալների» ուղղությունն այժմյան բովանդակությամբ և հնարավորություններով ձևավորվեց երկրի մակերևույթի մշտադիտարկում իրականացնող արբանյակային համակարգերի ստեղծվելուց հետո:

Այժմ գործող արբանյակային համակարգերի տեխնիկական հնարավորությունները (պատկերների որակը, հանույթի բարձր լուծաչափը, բազմասպեկտրալ հանույթի սարքերը), ինչպես նաև դիտարկման բարձր հաճախականությունը երկարատև զարգացման արդյունք են: Այդ զարգացմանը զուգահեռ և դրանով պայմանավորված կատարելագործվում են արբանյակային պատկերների մշակման մեթոդները, տվյալների ստացման, կազմակերպման, պահպանման և օգտագործողին տրամադրման եղանակները: Մեծ տվյալների ասպարեզի տեխնիկական, տեխնոլոգիական և մեթոդական համալիր զարգացումը և կատարելագործումը հանգեցրել է երկակի հետևանքի: Մի կողմից, ստեղծվել է տարածական տվյալների երկարաժամկետ շարքերի օգտագործման, ինչպես նաև նոր բարդ միջճյուղային արդիական տեսական և գործնական խնդիրների լուծման հնարավորություն, մյուս կողմից ընդլայնվել է գիտական լուծումների գործնական կիրառությունը: Այդ նոր հնարավորությունները խթանում են նաև գիտական միջճյուղային համագործակցությունը: Մյուս կողմից, հետզհետե բարդանում է մեծ տվյալների տեխնիկական, տեղեկատվական, տեխնոլոգիական ապահովումը և մեթոդաբանությունը, և հետևաբար՝ տվյալների օգտագործումը թեմատիկ ասպարեզների հետազոտողների համար:

ԵՄՄՏ տեխնոլոգիաները և մեթոդներն արդեն տասնամյակներ ակտիվորեն կիրառվում են զարգացած երկրներում, որոնց հետազոտողներին մատչելի են և՛ գերհզոր համակարգչային տեխնիկան, և՛ տվյալների թանկարժեք արխիվացումը: Այդ երկրներն ստեղծել և զարգացնում են ազգային ՄՏ արխիվներ «տվյալների խորանարդի» կառուցվածքով, բովանդակությամբ և գործառնություններով:

Հայաստանի համար ՄՏ մեթոդներով լուծվող խնդիրները մշտապես եղել են արդիական, սակայն գիտական հետազոտությունների համար հասանելի չեն եղել՝ սկզբում տվյալների արժեքի, իսկ հետագայում նաև գերհզոր և թանկարժեք համակարգչային տեխնիկայի բացակայության պատճառով: Այժմ, երբ այս ուղղությամբ Հայաստանում կատարվել են առաջին քայլերը՝ կազմվել է հայկական «տվյալների խորանարդ» միջավայրը,¹ հողվածի հեղինակները գտնում են, որ Երկրի մասին և հարակից գիտությունների հայ մասնագետներին օգտակար կլինի ծանոթանալ հողվածում ներկայացված ԵՄՄՏ ժամանակակից մեթոդներին, լուծումներին, միջազգային փորձին, մեր երկրի

¹ datacube.sci.am

համար արդիական այս ասպարեզի խնդիրներին և դրանց լուծման հնարավորություններին, որոնք էլ ներկայացված են տվյալ հոդվածում:

1. Երկրի դիտարկման մեծ տվյալների ստացման, մշակման և օգտագործման մեթոդաբանությունը և տեխնոլոգիաները

1.1 Մեծ տվյալների, հարակից հասկացությունների սահմանումն ու նկարագրությունը

Ընդհանուր առմամբ «մեծ տվյալներ» տերմինով ներկայացվում է տվյալների այնպիսի ամբողջություն, որն իր մեծ ծավալի և /կամ բարդության (բազմազանության, անհամասեռության, դժվար կարգավորվող կառուցվածքի) պատճառով չի կարող մուտքագրվել, պահպանվել, մշակվել և օգտագործվել սովորաբար կիրառվող մեթոդներով և հաշվիչ տեխնիկայով:

Դրանց օգտագործման համար պահանջվում են հաշվողական և համակարգչային գիտությունների նոր մեթոդներ, ծրագրային ապահովում և բարձր հաշվողական հզորություն ունեցող տեխնոլոգիաներ, որոնցից է զուգահեռացման սկզբունքով կառուցված տեխնոլոգիան (Ասգատրյան և ուր., 2017, Yang, Huang և ուր., 2017):

Մեծ տվյալներն իրենց կիրառման սկզբնական շրջանում բնութագրվել են հետևյալ երեք որոշիչ հատկություններով. 1) հսկայական և արագորեն աճող ծավալով (volume), որի արդյունքում տվյալների ամբողջությունը դառնում է անկառավարելի սովորական եղանակներով և տեխնոլոգիաներով, 2) տվյալների հոսքի գոյանալու և օգտագործողին փոխանցելու բարձր հաճախականությամբ և արագությամբ (velocity), 3) տվյալների տեսակների, բովանդակության, մասշտաբի այնպիսի բազմազանությամբ (variety), որի պատճառով դրանք հնարավոր չէ համատեղել մեկ բնդհանուր կառուցվածքում:

Այժմ որոշիչ հատկություններին ավելացնում են նաև հետևյալ երկուսը. 4) տվյալների որակի մի շարք ցուցանիշներ, որոնք ամփոփվում են հավաստիության (veracity) հասկացությամբ, 5) տվյալների արժեքը (value), որն բխում է նախորդ չորս հատկանիշներից և գնահատում է, թե տվյալները որքանով են կիրառելի և արժեքավոր արդիական գործնական և տեսական խնդիրների լուծման համար: Այս հինգ հատկանիշները հաշվի առնելով կազմվել է մեծ տվյալները սահմանող 5V-ի բանաձևը (Yang, Huang և ուր., 2017):

Երկրի դիտարկման մեծ տվյալների հոսքեր ստացվում են տարատեսակ աղբյուրներից՝ արբանյակների հեռահար դիտարկումներից, վերգետնյա ավտոմատացված մոնիտորինգի սարքերից, թվայնացման գործիքների և սկաներների, թվային՝ քանակական մոդելավորման և այլ միջոցներով: Այս աղբյուրներից ստացված տեքստային, երկրաչափական տվյալները, պատկերները և այլ տվյալները, որոնք ուղղակի կամ անուղղակի կերպով ներկայացնում են տարածական տեղեկատվություն, անվանվում են «Digital Earth Data»: Ելնելով այս կայացած

տերմինից, առաջարկվում է քննարկվող տեսակի տեղեկատվությունը հայերեն անվանել «Երկրի թվային տվյալներ»:

1.2 Մեծ տվյալների խորանարդ (Big data cube) մոդելը

Այս մոդելը և տեխնոլոգիաները մեծապես օգտագործվում են արբանյակային տվյալների մշակման համար, սակայն առաջ են եկել անկախ արբանյակային նկարների օգտագործման ուղղությունից: Տերմինը ներմուծվել է 1990-ականներին որպես տվյալների շտեմարանի չափողականության մոդել: Այս տեսակետից, Data Cube-ը վերաբերում է էլեկտրոնային համակարգին, որը գործ ունի տվյալների սովորական ծավալների խորանարդ աստիճանի հետ: Այժմ տերմինն օգտագործվում է բազմաչափ տվյալների հավաքածուն ներկայացնելու համար: Նույն նպատակով տվյալների հենքերի ճարտարագիտության ասպարեզում օգտագործվում է «առցանց վերլուծական մշակման» խորանարդ (OLAP (Online Analytical Processing) Cube) տերմինը, որը բնութագրում է վերլուծության համար պատրաստ տվյալների բազմաչափ զանգված (Analysis Ready Data (ARD)) և համապատասխան համակարգչային տեխնիկա ու ծրագրային միջոցներ (Nativi, Mazzetti և ուր., 2017):

Տվյալների խորանարդը բնորոշվում է որպես ռասստրային տվյալների զանգված, որի ծավալը վեր է սովորական սերվերի հիշողության հնարավորություններից, որի միևնույն տեսքի տվյալներից յուրաքանչյուրի արժեքը պատկանում է d-չափանի տվյալների խորանարդի կոորդինատային առանցքներով որոշված ռասստրի, և որի այդ առանցքներով որոշված կոորդինատները թույլ են տալիս միանշանակ որոշել զանգվածի կամայական տվյալի հասցեն (Guiliani, Chatenoux և ուր., 2017): Երկրի դիտարկման տվյալների խորանարդն այժմ դիտարկվում է որպես գաղափարային մոտեցումների, մեթոդների և տեխնոլոգիաների ամբողջություն, որն ուղղված է մեծ տվյալների ներուժի ամբողջական օգտագործմանը: Խնդիրն է՝ ստեղծել միջոցներ, որոնք կվերացնեն մեծ տվյալների օգտագործման բարդությունները և կտրամադրեն տարածական-ժամանակային տվյալներ՝ վերլուծության համար պատրաստ վիճակով:

Մի շարք երկրներ «Արբանյակների միջոցով երկրի դիտարկման կոմիտեի» (Committee on Earth Observation Satellites - CEOS) հովանուներքո ստեղծել են ազատ օգտագործման տվյալների խորանարդներ (Open Data Cube (ODC)) (<https://ceosdatacube.org>): Այդպիսի ենթակառուցվածքներ կազմվել են նաև Եվրամիության նախագծերով և առանձին երկրների նախաձեռնությամբ (Nativi, Mazzetti և ուր., 2017):

Կազմվել են նաև մասնագիտացված տվյալների խորանարդներ, որոնց օրինակը ներկայացված է ստորև (Magno, De Filippis և ուր., 2019): Այն աշխարհագրական տարածական տվյալների խորանարդ է՝ կազմված բազմաչափ սկզբունքով, և թույլ է տալիս ներբեռնել, պահպանել, մշակել, վերլուծել և օգտագործել հեռահար զոնդավորման և

օդերևութաբանական տվյալներ: Տես կառուցվածքը հիմնված է Open Geospatial Consortium (OGC) ստանդարտների վրա, տվյալների հենքերի կառավարման համար օգտագործում է PostgreSQL համակարգը, որին ինտեգրված է վիճակագրական մեթոդների բավական մեծ խումբ՝ կազմված R տվյալների վիճակագրական մշակման և համապատասխան գծապատկերների կառուցման համար նախատեսված ծրագրավորման լեզվով:

1.3 Երկրի դիտարկման մեծ տվյալներ (Earth Observation Big Data)

Մեծ տվյալների ուղղության սահմաններում այժմ ձևավորվել են դիտարկումների, հետազոտությունների և կիրառման որոշակի թեմատիկ ասպարեզներ, որոնցից է «Երկրի (դիտարկումների) մեծ տվյալները» (Earth Big Data կամ Earth Observation Big Data): Այդ տվյալների աղբյուրներն են արբանյակներից և ինքնաթիռներից հեռահար զոնդավորման, վերգետնյա մշտադիտարկումների և այլ եղանակներով կատարվող չափումների և դիտարկումների տվյալները: Երկրի դիտարկումների (ԵԴ) մեծ տվյալներին 5V բնութագրիչներից բացի հատուկ է հատկապես այն, որ ստացվելով բազմազան աղբյուրներից, ժամանակի տարբեր հատվածներում (multi-temporal), դրանք մեծամասամբ կոդմուրոշված են տարածության մեջ՝ տարածական և տարամասշտաբ են: Այդ տվյալները միմյանց հետ խիստ կապակցված են իրենց ֆիզիկական բովանդակությամբ, տարածության և ժամանակի մեջ:

ԵԴ մեծ տվյալները լայնորեն օգտագործվում են սեյսմիկայի, վտանգավոր լանջային և այլ բնական ու մարդածին վտանգների, շրջակա միջավայրի, բնական՝ հողային և ջրային ռեսուրսների ուսումնասիրության նպատակով: ԵԴ-ի հետ կապված է նաև «գիտական մեծ տվյալներ» (Scientific Big Data) հասկացությունը: Այդ խմբին վերագրվող տվյալներին հատուկ են՝ բարդ բազմաշերտ բովանդակությունը, գլոբալ ծածկույթը, ինչպես նաև բարձր ինտեգրվածությունը տեղեկատվական և կոմունիկացիոն տեխնոլոգիաների հետ: Այս հատկանիշները խթանում են բազմաառարկայական և միջառարկայական գիտական հետազոտությունների զարգացմանը (Guo, Wei և ուր., 2017):

1.4 Արբանյակային հեռահար զոնդավորումը (ՀԶ) որպես ԵԴ մեծ տվյալների կարևոր աղբյուր

Ժամանակակից ՀԶ միջոցով ստացված ԵԴ մեծ տվյալները ունեն բարձր լուծաչափ, երկարաժամկետ և անընդհատ բնույթ: Առավելապես օգտագործվում են Landsat-7, Landsat Sentinel-1, Sentinel-2 արբանյակների տվյալները, որոնք ունեն դիտարկման բարձր հաճախականություն, բարձր լուծաչափ, ազատ հասանելի են և գործում են բազմասպեկտրալ տիրույթներում (multi-band): Այդ արբանյակների դիտարկման տվյալները միմյանց համեմատությամբ ունեն տարբեր բնույթի մասնակի առավելություններ, ինչի պատճառով որոշակի խնդիրներ հաջողությամբ լուծվում են դրանց տվյալների համադրությամբ (Michella, Vescovi և ուր., 2019; Tiede, Sudmanns և ուր., 2019; Chung, Jung և ուր., 2019; Quintanao, Fernández-Mansob և ուր., 2018): Մեծ

տվյալների օրինակ են հանդիսանում հեռահար զոնդավորման տվյալների հիման վրա ստեղծված մի շարք հավելվածներ: Օրինակ՝ Google Maps-ը և Google Earth-ը համացանցում քարտեզագրման ամենատարածված ծրագրերից երկուսն են: Թե՛ Google Earth-ը, և թե՛ Google Maps-ը ունեն հասնելիություն Google Earth Engine-ին, մի հարթակի, որն ապահովում է արբանյակային պատկերների, տեղանքի տվյալների և վեկտորային տվյալների (սահմանները, ճանապարհները, բնակավայրերը, հողի և կլիմայի վերաբերյալ տեղեկատվությունը) հսկայական պահոց:

Ստորև ներկայացվում են արբանյակային տվյալներով հաշվարկվող առավել օգտագործվող ցուցանիշները:

1. Բուսականության նորմալացված տարբերությամբ ինդեքս (ԲՆՏԻ) (Normalized Difference Vegetation Index NDVI), որը ֆոտոսինթետիկ գործունեության կամ «կանաչության» ցուցանիշ է:
2. Բուսականության կատարելագործված ինդեքս (ԲԿԻ) (Advanced Vegetation Index, AVI), հաշվարկվում է առ պիքսել, օգտագործվում է ժամանակի ընթացքում ցանովի կուլտուրաների և անտառների փոփոխությունները դիտարկելու համար:
3. Ջրի նորմալացված տարբերությամբ ինդեքս (ՋՆՏԻ) (Normalized Difference Water Index NDWI), որն օգտագործվում է ջրային մարմինների տարանջատման համար:
4. Ձյան նորմալացված տարբերությամբ ինդեքս (ՁՆՏԻ) (Normalized Difference Snow Index (NDSI), ցույց է տալիս ձյան ծածկույթի տարածումը, հաշվարկվում է առ պիքսել:
5. Խոնավության նորմալացված տարբերությամբ ինդեքս (ԽՆԴԻ) (Normalized Difference Moisture Index (NDMI), արտահայտում է բույսերում ջրի պարունակությունը:
6. Քլորոֆիլի գունանյութերի նորմալացված հարաբերակցության ինդեքսը (*Normalized Pigment Chlorophyll Ratio Index* NPCRI), բուսականության մեջ քլորոֆիլի պարունակությունն որոշելու համար, ինչպես նաև ջրիմուռների տարածումը գնահատելու նպատակով:
7. Այրվածության նորմալացված հարաբերություն (ԱՆՀ) (Normalized Burn Ratio NBR), անտառային և այլ բուսածածկ տարածքների հրդեհների հետևանքների գնահատման համար:

1.5 Երկրի դիտարկումների մեծ տվյալների խորանարդի մշակման հայաստանյան փորձը («Armenian Data Cube»)

Երկրի դիտարկումների Տվյալների Խորանարդի (ԵԴՏԽ) նոր պարադիգմը Հայաստանի տարածքի համար իրականացվել է Շվեդարահայկական համագործակցությամբ, տեղակայված և հասանելի է <http://datacube.sci.am> հասցեով (Asmaryan, Muradyan և ուր., 2019): Համաձայն ԵԴՏԽ հիմնարար նպատակի, Հայկական ՏԽ-ի ստեղծման խնդիրը ևս եղել է վերլուծության համար պատրաստ տվյալների (Ana-

lysis Ready Data) ստացումը և դրանց հասանելիության ապահովումը Հայկական ՏՖ տվյալների բազայի միջոցով:

Վերլուծության համար պատրաստ տվյալները (ՎՊՏ) ստացվում են չորս նախնական ավտոմատացված քայլերի միջոցով (տվյալների հավաքագրում, ռադիոմետրիկ ստուգաչափում, մթնոլորտի վերին մասի անդրադարձման փոխակերպում և մակերևույթի անդրադարձման փոխակերպում), ինչն այնուհետև թույլ է տալիս վերլուծել տվյալները և ստեղծել ժամանակային շարքեր (Giuliani, Chatenoux և ուր., 2017):

Հայաստանը միացել է Երկրի դիտարկումների արբանյակների կոմիտեի (Committee on Earth Observation Satellites, CEOS) նախաձեռնությանը նպատակ ունենալով զարգացնել ԵՂՏՖ-ն և օգտագործել այն մի շարք արդիական խնդիրների լուծմանը, որոնք են.

- բնապահպանական խնդիրներ, որոնց լուծման համար պահանջվում է արդյունավետ արբանյակային մոնիտորինգի տվյալներ,
- կլիմայական տարրերի փոփոխությունների ուսումնասիրում,
- վտանգավոր պրոցեսների մոնիտորինգ, իրական ժամանակում արձագանքում,
- կայուն զարգացման նպատակով բնական ռեսուրսների ճշգրիտ գույքագրում, վերլուծություն և տարածքի շրջանացում:

Կառուցելով հայկական ՏՖ-ն, Հայաստանը այլ երկրների շարքում եզակի հնարավորություն ունեցավ մասնակցելու համաշխարհային զարգացման օրակարգի ձևավորման գործընթացին:

Այժմ ԵՂՏՖ տեխնոլոգիաները դեռ բարելավվում են և մինչ անհրաժեշտ տվյալներ ստանում են մի քանի հետազոտական կամ միջազգային կազմակերպություններից: Հայաստանի ԵՂՏՖ-ն պարունակում է Հայաստանի տարածքի համար 3 տարվա (2016–2019) Landsat-8 և Sentinel-2 վերլուծության համար պատրաստ տվյալներ:

Ներկայումս, հայկական ՏՖ-ում ներառված է ջրային օբյեկտների սահմանների որոշման գործիքը, որի միջոցով ուսումնասիրվել են Սևանա լճի ափագծի փոփոխությունները (Asmaryan, Muradyan և ուր., 2019): Գործիքի հիմքում ընկած է ջրի նորմալացված տարբերությամբ ինդեքսը (NDWI): Ջրային տարածքները ցամաքից տարանջատվում են կիրառելով ՄաքՖիթերսի մեթոդը՝

$$NDWI = (G - NIR) / (G + NIR),$$

որտեղ (G)-ն կանաչ միջակայքն է, NIR՝ մերձակա ինֆրակարմիր միջակայքը:

Asmaryan և ուր. (2019) հետազոտության արդյունքները ցույց են տալիս, որ 10մ լուծաչափով Sentinel-2 արբանյակային պատկերի հիման վրա նորմալորված հարաբերական ջրային ինդեքսի միջոցով ափագծի տարանջատումը տալիս է բավական բարձր ճշտությամբ արդյունք Սևանա լճի համար: Ներկայացվող ԵՂՏՖ միջավայրում արբանյակային տվյալների տեսարանները (Landsat-5,7,8 և Sentinel-2) հասանելի են Python-ի «gsutil» հավելվածի միջոցով, որը հնարավորություն է

տալիս մուտք գործել Google Cloud Storage հրամանի տողերից:²

Երկրի մակերևույթի ուղիղ դիտարկման (Live Monitoring of Earth Surface, LiMES) ցանցը օգտագործվել է ՎՊՏ կազմելու գործողությունները՝ տվյալների հայտնաբերումը և (նախա)մշակումն ավտոմատացնելու համար: Այս ցանցը մշակվել է տվյալների պահպանման մեծ կարողությունների, տարաբաշխված բարձր արտադրողականությամբ համակարգիչների և փոխգործունակ ստանդարտների օգտագործմամբ:

2. Մեծ տվյալների խորանարդի միջավայրում և միջոցներով լուծվող գիտական խնդիրներ. գրականության տեսություն

2.1 Երկրաբանական գիտություններ

Երկրաբանական գիտական հետազոտությունների սկզբունքային մեթոդներից է պատճառ – հետևանք օրինաչափությունների պարզաբանումը: Բավարար ծավալի դիտարկման տվյալների առկայության դեպքում օգտագործվում է կոռելյացիայի եղանակը (Qi, Liu, 2019): Ընդ որում, կոռելյացիա ասելով հեղինակները նկատի ունեն մեծ թվերով ներկայացված առարկաների կամ երևույթների և վիճակագրական, և տարածական կապը: Մի շարք երկրաբանական խնդիրների լուծման համար նշված եղանակը լավագույնն է: Մեծ տվյալների օգտագործումը սկզբունքորեն հզորացնում է այս եղանակը և դարձնում է այն կարևորագույն գիտական գործիք:

Տասնամյակներ առաջ մեծ տվյալների օգտագործմամբ ձևավորվեց սալերի տեկտոնիկայի տեսության վրա հիմնված՝ բազալտային ապարների կազմավորման գեոդինամիկական իրադրության որոշման երկրաքիմիական դիսկրիմինանտային դիագրամների եղանակը: Այժմ այ լայնորեն օգտագործում է ռեգիոնալ տեկտոնիկայի և հրաբխականության պրոցեսների մոդելավորման նպատակով:

Մեծ տվյալների տեխնոլոգիաներով՝ ներառյալ մեքենայական ուսուցման, նեյրոնային ցանցի և արհեստական բանականության մեթոդները (machine learning, neural network, and artificial intelligence, etc.) ուսումնասիրվել է օգտագործվող դիագրամների հավաստիությունը (Qi, Weidong և ուր., 2019): Նորացված միջազգային տվյալների հենքերից վերցված բազալտների 400 հազար նմուշների քիմիական կազմի վիճակագրական վերլուծությամբ հեղինակները եզրակացնում են, որ նախկինում կառուցված և մինչ այժմ օգտագործվող դիագրամները, հատկապես ապար կազմող օքսիդների դիագրամները, բավարար չափով հավաստի չեն: Հեղինակները կազմել և առաջարկում են հավաստիության սկզբունքով իրենց կողմից կազմված (confidence ellipse) եղանակով վեց նոր՝ արդյունավետ դիագրամներ:

² <https://cloud.google.com/storage/docs/gsutil>

Մեծ տվյալների կիրառման մեկ այլ օրինակ է գրանիտների քանակական դասակարգումը և դրանց մետադաժնության գնահատումը վիճակագրական եղանակով (Q-կլաստերացում): Մեծ թվով՝ 500-ից ավելի գրանիտների նմուշներ ըստ ապար կազմող օքսիդների պարունակության հեղինակները բաժանել են դասերի և ենթադասերի: Այնուհետև, հանքայնացման տարածական բաշխման վերլուծությամբ հայտնաբերվել է ոսկու, պղնձի և ցինկ/կապարի տարածական կապակցվածությունը որոշակի խմբերի գրանիտների հետ (Wang, Wang և ուր., 2019):

2.2 Բնական վտանգներ

Սողանքների ուսումնասիրություն

Լանջային պրոցեսների մոնիտորինգի նպատակով օգտագործվում են հեռահար զոնդավորման ինտերֆերոմետրիկ մեթոդներ: Sentinel-1 և 2 արբանյակների համակարգը SAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) (Tiede, Sudmanns և ուր., 2019; Kyriou, Nikolakopoulos, 2018) և PSI (Persistent Scatterer Interferometry) միջոցով երկարատև դանդաղ շարժման ֆոնի վրա հայտնաբերվում են նաև ոչ մեծ կտրուկ տեղաշարժեր: Այդպիսի օրինակ դիտվել է ֆրանսիական Ալպերում, որտեղ յոթ ամսյա մոնիտորինգի ընթացքում դիտվել է ցածր ակտիվություն (≤ 1 մ), ինչից հետո՝ կտրուկ տեղաշարժ (3.2 ± 1.2 մ) երեք օրվա ընթացքում (Lacroixa, Bievrea և ուր., 2018):

Ջրհեղեղների ուսումնասիրություն

Հեռահար օպտիկական դիտարկման և ռադարային զոնդավորման եղանակները օգտագործվում են ջրհեղեղների վտանգի գնահատման, հեղեղման ռիսկի նվազեցման գործողությունների իրականացման նպատակով: Այդ երկու եղանակներով որոշվում և քարտեզագրվում են հնարավոր հեղեղման տարածքները, մշակվում են վտանգի նվազեցման միջոցառումներ (Vidyapriya, Kaviya և ուր., 2019; Huska, Jurik և ուր., 2017):

Landsat և MODIS արբանյակային համակարգերի տվյալների համադրումը ջրհեղեղի գնահատման դրական արդյունքներ է տալիս (Lin, Di և ուր., 2016): Ջրածածկման տարածքն որոշելու նպատակով օգտագործվում են երկու խումբ դիտարկումներ՝ նախքան ջրհեղեղը և դրանից հետո: Այդ տվյալներով քարտեզագրվում է ջրածածկման տարածքը և գնահատվում են պատճառած վնասները (Klemas, 2015):

Անտառային հրդեհների ուսումնասիրություն

Արբանյակային հեռահար դիտարկումների տվյալները օգտագործվում են. 1. անտառային հրդեհների առաջացման վտանգի գնահատման, 2. մեծ ծավալի հրդեհի տարածմանը հետևելու և 3. հրդեհի հետևանքով առաջացած վնասը գնահատելու նպատակով:

Արբանյակային դիտարկման տվյալներով առաջին նպատակի համար ուսումնասիրվում է բուսականության վիճակը և գնահատվում է հնարավոր այրվող նյութի քանակը և չորության աստիճանը: Երկ-

բորդ նպատակով NOAA AVHRR արբանյակների տվյալներով կազմվել են հրդեհի տարածման դինամիկ քարտեզներ:

Մեծ թվով ուսումնասիրություններ կատարվել են երրորդ խնդրի հետ կապված, որոնց հիմնական մեթոդը հետևյալն է: Հեռահար զոնդավորման տվյալների ժամանակային շարքով հաշվարկվում է բուսականության նորմալացված տարբերությամբ ինդեքսը (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) և այրվածության նորմալացված հարաբերությունները (Normalized Burn Ratio - NBR), պիքսելների համադրման եղանակով տարանջատվում են այրված տեղամասերը (Chung, Jung և ուր., 2019):

Հրդեհների հետևանքների գնահատման նպատակով օգտագործվում է նաև Sentinel-2 արբանյակի բազմասպեկտրալ (Multi-Spectral Instrument (MSI) և Landsat-8 արբանյակի տվյալների համադրումը (Quintanoa, Fernández-Mansob և ուր., 2018): Այդ արբանյակների զոնդավորումները կատարվում են միևնույն սպեկտրալ ալիքի երկարություններում, սակայն երկրորդ արբանյակի տվյալները ունեն ավելի բարձր լուծաչափ և ստացվում են ավելի հաճախ: Միևնույն ժամանակ մի շարք հետազոտություններով պարզվել է, որ Sentinel-2A and Sentinel-2B արբանյակները ունեն որոշակի բնական ռեսուրսների ներկայացման առավելություններ, այդ թվում նաև հրդեհի արդյունքում անտառի այրվածության աստիճանի գնահատման դեպքում: Այդ երկու արբանյակների տվյալների համադրությամբ զգալի կերպով ճշգրտվել է միջերկրածովային էկոհամակարգում հրդեհված տարածքի սահմաններն և պատճառված վնասները:

Երաշտի ուսումնասիրություն

Երաշտի ռեգիոնալ և գլոբալ հետևանքների գնահատման նպատակով առավելապես օգտագործվում են MODIS երկարաժամկետ և մեծ ծածկույթով տվյալները: Սակայն բազմատեսակ բուսականությամբ մեծ տարածքների ուսումնասիրության դեպքում արդյունավետ է համարվում Sentinel-2 արբանյակային տվյալների օգտագործումը: Հաշվարկվում և համադրվում են բուսականության վիճակի (Vegetation Condition Index, VCI), ջրի տարբերության նորմալացված (Normalized Difference Water Index, NDWI) և երաշտի նորմալացված բազմա-տիրույթ (Normalised Multi-Band Drought Index, NMDI) ինդեքսները: Երաշտի ինդեքսի ավելի ճշգրիտ արժեքներ ստանալու համար խորհուրդ է տրվում կատարել ուսումնասիրվող տեղանքին համապատասխանող տվյալների ստուգաչափում՝ օգտագործելով տեղումների և գոլորշացման տվյալները (Nguyen, Nguyen, 2016):

2.3 Երջակա միջավայրի հետազոտություններ՝ անտառների դասակարգում և հողօգտագործման մոնիտորինգ

Անտառային տարածքի բուսականության քարտեզագրման նպատակով օգտագործվում են Sentinel-1, Sentinel-2 and SPOT-6 արբանյակների տվյալները, որոնք մշակվում են Random Forest ուսուցմամբ դասակարգման ալգորիթմով (Random Forest supervised classification): Այս

եղանակով հաջողվել է տարանջատել և քարտեզագրել հետևյալ տեսակի տարածքներ. բուսականությունից զուրկ, անտառ և մանրանտառ, ճահիճ և աշնանացան, ամառային ցանքատարածություն, մարգագետին և ջուր: Լավագույն արդյունքը ստացվում է բևեռացման (polarizations VV and VH) եղանակների համադրմամբ: Բարձր ճշտության արդյունք ստացվում է նաև SAR NDVI, NDWI, S2rep, IRECI ինդեքսների համադրությամբ (Niculescu, Billey և ուր., 2018):

Sentinel-2 պատկերների բազմասեզոն ժամանակային շարքը, շնորհիվ արբանյակի բազմասպեկտրալ բնույթի, բարձր տարածական լուծաչափի և դիտարկման բարձր հաճախականության, թույլ է տալիս ըստ բուսականության ինդեքսների իրականացնել անտառների միջին և մեծ մասշտաբի արդյունավետ դասակարգում, որի արդյունքում տարանջատվում են փշատերև, լայնատերև, խառն անտառներ և չորս տեսակներ՝ հաճարենու, եղևնու և խառը կաղնու անտառներ (Puletti, Chianucci և ուր., 2017):

Ֆորմալ դասակարգման եղանակով Sentinel-2A պատկերների վերլուծությամբ քարտեզագրվել են հողի ծածկույթի և հողօգտագործման պայմանների ժամանակի ընթացքում տեղի ունեցած անկառավարելի փոփոխությունները (Szostak, Hawryło և ուր., 2017):

3. Հայաստանում Երկրի մասին գիտությունների արդիական խնդիրներ

Մեծ տվյալների մեթոդների և տեխնոլոգիաների զարգացումը Հայաստանում կարևոր նշանակություն կունենա երկրաբանական, աշխարհագրական, բնապահպանության և հարակից գիտությունների արդիական խնդիրների լուծման համար: Ստորև ներկայացվում են այդ գիտական ասպարեզների խնդիրներ, որոնց լուծումն ունի նաև գերակա գործնական նշանակություն:

3.1 Արբանյակային տվյալների արխիվացման և օգտագործման սկզբունքների մասին

Երկրի դիտարկման (ԵԴ) մեծ տվյալների ստացման, պահպանման և մշակման նպատակով մեծ տարածք ունեցող երկրները՝ օրինակ Ռուսաստանը, կազմակերպել են ռեգիոնալ կենտրոններ, որոնք միասին կազմում են տարածքային բաշխվածությամբ արխիվների համակարգ (распределенные архивы спутниковых данных) (Балашов, Ефремов и др., 2008):

Ի տարբերություն դրան Հայաստանի ոչ մեծ տարածքի տվյալները կարող են արխիվացվել և պահպանվել կենտրոնացված ձևով:



Նկ.1. Արբանյակային տվյալների առ պիքսել կառուցվածքը, յուրաքանչյուր աղյուսակ պարունակում է մեկ ֆիքսված պահի տվյալներ:

Բնական գիտությունների հետազոտությունների հիմնական խնդիրն առարկաների և երևույթների տարածական-ժամանակային (սեզոնային և երկարաժամկետ) փոփոխությունների պարզաբանումն ու վերլուծությունն է: Այդ բովանդակության հետազոտությունները հատկապես արդիական են կլիմայական փոփոխությունների և ուժգնացող մարդածին ճնշումների պայմաններում: Նշված արդիական խնդիրների թեմատիկան չափազանց լայն է՝ բնական ռեսուրսների հաշվառում, արդյունավետ օգտագործում և պահպանում, բնական և մարդածին վտանգների մոնիտորինգ և աղետների ռիսկերի նվազեցում, էկոլոգիական համակարգերի ուսումնասիրություն և պահպանում, ինչպես նաև մի շարք հիմնարար տեսական խնդիրներ:

Հայաստանի տարածքին վերաբերվող Sentinel, Landsat և այլ ազատ օգտագործման արբանյակային տվյալների ամբողջական ծավալով արխիվացման և վերլուծության համար պատրաստ վիճակով տվյալները (ՎՊՏ) վերջնական օգտագործողին տրամադրելը մեծապես կնպաստի երկրի մասին և հարակից գիտությունների գերակա հետազոտությունների և միջճյուղային գիտական համագործության զարգացմանը:

Ստորև ընդհանուր ձևով ներկայացվում են այդ խնդրի լուծման պարզ սխեման և բաղադրիչները.

- արբանյակային (առ պիքսել) տվյալների հենք հետևյալ ատրիբուտներով. Date ID, Longitude, Latitude, Altitude (elevation), Cloud cover (yes/no), Band1 value, Band2 value, ..., ..., Band 13 value (նկ.1),
- վերգետնյա օդերևութաբանական և այլ ուղղվածության մոնիտորինգի կայանների ցանցի տվյալների հենք հետևյալ ատրիբուտներով. Date, Station ID, Station name, Station Longitude,

Station Latitude, Station Altitude, Temperature C°, Precipitation mm. (նկ.2),

- արբանյակային տվյալների որևէ տարածքին և ժամանակահատվածին վերաբերվող մասնակի (ոչ լրիվ ատրիբուտներով) տվյալներ դուրս բերելու և հաշվողական բլոկ փոխանցելու օգտագործողի ինտերֆեյս (կազմված է USGS Earth Explorer օրինակով) (նկ.3): Ինտերֆեյսը տալիս է հնարավորություն ընտրելու դիտարկման տարածք, ժամանակահատված, ալիքի երկարության տիրույթ,
- ՀՀ տարածքի թվային քարտեզների և այլ տարածական տվյալների հենք (ներկայացված է VGSE գեոպորտալում)³,
- հաշվողական բլոկ՝ գործիքակազմ ArcGIS-ում/QGIS-ում, հնարավոր է նաև
- ռուսական ScanEx ծրագրի համադրմամբ,
- ազատ օգտագործման ԱՏՀ (GIS) - վերլուծությունների և դրանց արդյունքների գրաֆիկական, աղյուսակային և քարտեզագրական ներկայացման գործիքակազմով:

Մակերևութային ջրերի պաշարները կլիմայի փոփոխության հետևանքով նվազելու միտում ունեն: Դրա հետ մեկտեղ բնակչության թվի աճի և տնտեսության զարգացման հետևանքով աճում է ջրի պահանջարկը: Հայաստանի հանրապետության բարձրադիր լեռնային տարածքում գոյանում են բավական մեծ ծավալի ջրային ռեսուրսներ, սակայն որոշ բնական և մարդածին գործոններով պայմանավորված, երկրում ջրի պահանջարկը լիովին չի բավարարվում:

Օդերևութաբանական դիտարկումների ՏՀ կառուցվածքը

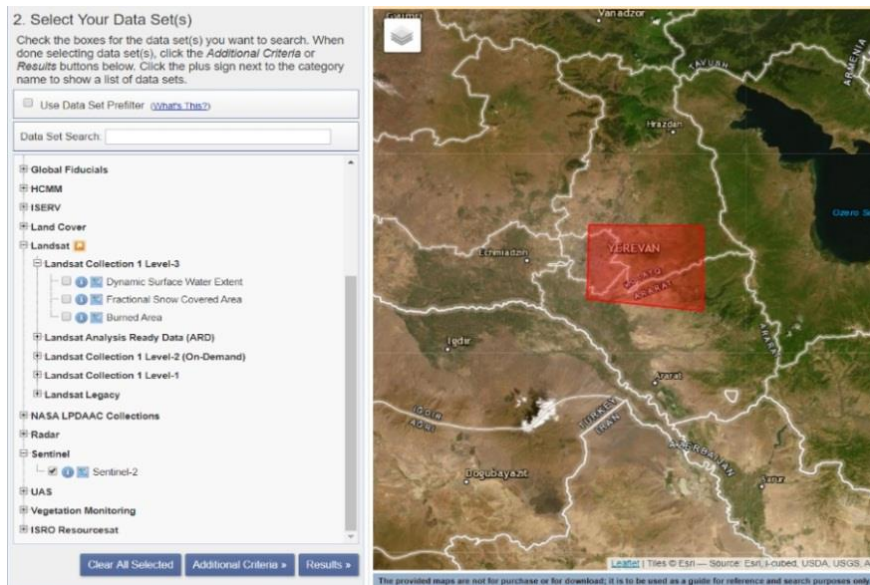
Մնաթիվ							Կմներ, մմ
Մնաթիվ							
Մնաթիվ							ՏՊ
ID	Կայանի անվանումը	Լայնություն	Երկայնություն	Բարձրություն	Ձերմաստիճան, °C	Տեղումներ, մմ	

Տարածական շարժեր

Ժամանակային շարժեր

Նկ.2. Օդերևութաբանական մոնիտորինգի տվյալների հենքի կառուցվածքը. Յուրաքանչյուր աղյուսակ պարունակում է դիտարկման ցանցի բոլոր կայանների մեկ ֆիքսված պահի տվյալներ:

³ <http://vgse.geology.am/>



Նկ.3. Պահանջված տարածքի, ալիքի երկարության և ֆիքսված պահի համար ընտրված արբանյակային պատկերը⁴

3.2 Մակերևութային ջրային ռեսուրսների քանակի և որակի գնահատման, դրանց փոփոխությունների կանխատեսման համակարգ

Ինչպես և այլ երկրներում, Հայաստանում ևս քաղցրահամ ջրի պակասի էական պատճառներից են նաև տնտեսության ոչ ռացիոնալ զարգացումը և ջրային ռեսուրսների ոչ արդյունավետ կառավարումը:

Ներկայացված պայմաններում արդիական խնդիր է ջրային ռեսուրսների արդյունավետ օգտագործման և պահպանման տեղեկատվական-վերլուծական համակարգի ստեղծումը, որն ընդունելով վեր-գետնյա և արբանյակային մշտադիտարկումների տվյալներ, ունենալով թվային քարտեզների անհրաժեշտ համալիր, կարող է մեծ տվյալների մեթոդներով կանխատեսել ձմռան/գարնան ընթացքում կուտակվելիք ջրի պաշարները: Համակարգը նաև կարող է իրական ժամանակում հաշվարկել կուտակված և ծախսված ջրի քանակները՝ կազմելով ջրային և ջրատնտեսական դինամիկ հաշվեկշիռներ առցանց որոշումներ կայացնելու համար:

Համակարգի գործառնություններն իրականացնելու նպատակով նախապես անհրաժեշտ է լուծել ստորև ներկայացված գիտական և գործնական խնդիրները:

3.2.1. Ջրային ռեսուրսների ձևավորման գնահատման արդի գիտական խնդիրները

ՀՀ տարածքի ջրային ռեսուրսների կառավարումը բարելավելու նպատակով իրականացվել են մեծ թվով ուսումնասիրություններ, սակայն ստորև ներկայացված խնդիրները չեն լուծվել այն աստիճանի, որ

⁴ <https://earthexplorer.usgs.gov/>

արդյունքները համակարգված կերպով օգտագործվեն գործնական նպատակներով:

Արդիական է լուծել հետևյալ գիտական խնդիրները.

- Մակերևութային հոսքի ձևավորման ընդհանուր մոդելի մշակում և տեղայնացված կիրառում առանձին գետավազանների պայմաններում: Որպես հոսքի ձևավորման գործոններ կդիտարկվեն՝ օդերևութաբանական պայմանները, ռելիեֆի մորֆոմետրիական ցուցանիշները, լեռնային ապարների լիթոլոգիական տեսակները, բուսականության և հողերի տեսակները: Խնդիրն ունի բազմագործոն լուծում՝ դիտարկվող գործոնների ԱՏՀ թվային շերտերի վրադրման եղանակով:
- Ջրային ռեսուրսների երկարաժամկետ փոփոխությունների կանխատեսման մոդելների գնահատում և տեղայնացում ՀՀ բնական պայմաններում:
- Մակերևութային ջրերի հոսքի քանակի և ստորերկրյա ջրերի դեբիտի միջև կապի պարզաբանում:
- Աղտոտման հետևանքով ՀՀ տարածքում օգտագործման համար պիտանի ջրերի քանակի նվազման օրինաչափությունների ուսումնասիրություն և քարտեզագրում:

3.2.2. Ջրային ռեսուրսների կառավարման արդի գործնական խնդիրները

Վերը նշված տեսական խնդիրների լուծումը թույլ է տալիս կատարել մակերևութային ջրերի հոսքի քանակի և պաշարների դինամիկ հաշվարկներ և կանխատեսումներ:

Այդ ուղղությամբ առաջին նպատակը փոքր լճերի և արհեստական ջրամբարների ջրով լցվածության և ջրի բացթողումների օպերատիվ գնահատումն է, հաշվի առնելով մթնոլորտային տեղումների (ձյան և անձրևի տեսքով) դինամիկան և քանակը: Օգտագործվող տվյալներն են. ռելիեֆի թվային մոդելը, ձյան ծածկույթի և ավազաններում ջրի հայելու տիեզերական դիտարկումների ժամանակային շարքերը, հիդրոլոգիական և օդերևութաբանական մոնիտորինգի տվյալների շարքը:

Երկրորդ խնդիրը գետային աղետալի հոսքի և ջրհեղեղի առաջացման կանխատեսումն է՝ հաշվի առնելով ձյան ծածկույթի տարածումը և ձնհալի ռեժիմը, որը կանխատեսվում է օդի ջերմաստիճանի և անձրևի տեսքով տեղումների տվյալներով:

3.3 Անտառային հրդեհների վտանգի գնահատման և բռնկման կանխատեսման էքսպերտային համակարգի ստեղծման խնդիր

Անտառային և այլ բուսածածկ տարածքների պահպանումը հրդեհներից դառնում է ավելի արդիական կլիմայի փոփոխությունների պայմաններում: Հայաստանում անտառային հրդեհների վտանգի նվազեցման աշխատանքներ իրականացվում են երկու ուղղությամբ: Հայաստան կազմակերպությունը կազմել է առանձին անտառային տնտեսությունների թվային քարտեզներ, որոնք հրդեհի վտանգը գնահատում են հաշվի առնելով մեկ գործոն՝ ծառերի կենսաբանական տեսակները:

Մյուս ուղղությամբ Հայպետհիդրոմետ գործակալությունը տալիս է վտանգի օդերևութաբանական օպերատիվ գնահատական ըստ օդի ջերմաստիճանի և օդի խոնավության: Այդ երկու բնույթի միմյանց հետ չկապված գնահատականները լիովին չեն լուծում քննարկվող արդիական խնդիրը: Դրա համալիր լուծման ճանապարհը ժամանակակից տեխնոլոգիաներով ավտոմատացված՝ առցանց գործող անտառային հրդեհների վտանգի բազմագործոն գնահատման, բռնկման կանխատեսման և վաղ նախազգուշացման համակարգի ստեղծումն ու ներդրումն է:

Համակարգի գործողությունների հաջորդական քայլերը հետևյալներն են.

1. Դաշտային սենսորների ավտոմատացված ցանցի և Հայպետհիդրոմետ գործակալության օդերևութաբանական մոնիտորինգի, Sentinel-2 և MODIS արբանյակների տվյալների ստացում և փոխանցում վերլուծական կենտրոն, միացյալ տվյալների հենքի կազմում:
2. Հրդեհի «վտանգի ինտեգրալ ինդեքսի» հաշվարկ և տարածքի ԱՏՀ շերտի կազմում, որը հանդիսանում է վտանգի բազմագործոն (օդի ջերմաստիճանի և խոնավության, հողի ջերմաստիճանի և խոնավության, բուսականության) դինամիկ քարտեզագրական դիֆերենցված գնահատական:
3. Երկարաժամկետ անփոփոխ բնութագրիչներով անտառային տարածքի գնահատման ԱՏՀ ստատիկ շերտի կազմում: Հաշվի են առնվում՝ տարածքի տեղագրական հատկանիշները՝ ռելիեֆի թեքությունը, կողմնադրությունը, բարձրության գոտիները և անտառի բնութագիրը (հիմնականում՝ դյուրավառ անտառանյութի քանակը): Ըստ դիտարկվող գործոնների համալիր գնահատականի տարածքում տարանջատվում և քարտեզագրում է վտանգի երեք մակարդակ:
4. Տարածքի դինամիկ և ստատիկ ԱՏՀ շերտերի համադրմամբ հրդեհի բռնկման հնարավորության կանխատեսում և իրավիճակային քարտեզի կազմում:

Հրդեհի ռիսկի նվազեցման էքսպերտային լուծումները և գործողությունների առաջարկները կազմվում են ավտոմատ կերպով էքսպերտային «գիտելիքների բազայի» (ԳԲ) և տրամաբանական արդյունքների կառավարման (ՏՄԿ) (Logic Output Manager) ծրագրային մոդուլների օգտագործմամբ:

ԳԲ-ն ընդգրկում է հակահրդեհային պաշտպանության պաշտոնական կարգավորումներ և հրահանգներ, ինչպես նաև մասնագիտական փորձի և հրդեհների նախադեպերի «պատմությունը»:

ՏՄԿ-ծրագիրն ընտրում է յուրաքանչյուր նախահրդեհային իրավիճակին վերաբերվող հրահանգով սահմանված և գործնական փորձով արդարացված գործողություններ և կազմում է անհրաժեշտ միջոցառումների առաջարկ:

Վտանգի և միջոցառումների մասին նախագգուշացման գործառույթն իրականացվում է տազնալի ազդարարման (SU) ծրագրային մոդուլի միջոցով: SU մոդուլն ելնելով ահագանգի բովանդակությունից ընտրում է հրահանգներով սահմանված հասցեատերերին և ուղարկում է տեքստային հաղորդագրություն:

Նախահրդեհային իրադրության փոփոխության դեպքում գործառույթը կրկնվում է համաձայն նոր ստեղծված իրավիճակի:

Եզրակացություն

Հոդվածում ներկայացված գրականության տեսությունը ցույց է տալիս մեծ տվյալների ժամանակակից բովանդակությունը և երկրի դիտարկման մեծածավալ տարածական և ժամանակային շարքերի կիրառման լայն հնարավորությունները երկրաբանության, աշխարհագրության, բնապահպանական գիտական խնդիրների լուծման համար: Այդ նպատակով օգտագործվող երկրի դիտարկման մեծ տվյալների հոսքեր ստացվում են տարատեսակ աղբյուրներից՝ արբանյակների հեռահար դիտարկումներից, վերգետնյա ավտոմատացված մոնիտորինգի սարքերից, թվայնացման գործիքների և սկաներների, թվային՝ քանական մոդելավորման և այլ միջոցներով: Այս բազմատեսակ տվյալների անհամասեռ ամբողջությունն առաջարկվում է հայերեն անվանել «Երկրի թվային տվյալներ»՝ հետևելով արդեն լայն օգտագործում ստացած դրանց ընդհանուր «Digital Earth Data» անվանմանը:

Այդ տվյալների կազմակերման և օգտագործման մեծ տվյալների խորանարդ (Big Data Cube) կոչվող մոդելը և տեխնոլոգիաները առ այսօր առավել զարգացած և արդյունավետ են երկրաբանության և հարակից գիտական հետազոտություններում օգտագործելու համար: Այս մոդելի սկզբունքային առավելությունը կայանում է նրանում, որ այն արբանյակներից և դիտարկման այլ աղբյուրներից ստացված տեղեկատվությունը հետազոտողին տրամադրում է «վերլուծության համար պատրաստ տվյալներ»-ի ձևով:

Հայաստանի տարածքին վերաբերվող Sentinel, Landsat և այլ ազատ օգտագործման արբանյակային տվյալների ամբողջական ծավալով արխիվացված և վերլուծության համար պատրաստ վիճակով տվյալները (ՎՊՏ) հետազոտողին (վերջնական օգտագործող) տրամադրելն անհրաժեշտություն է չափազանց լայն թեմատիկա ընդգրկող խնդիրների լուծման համար, որոնք հատկապես արդիական են կլիմայական փոփոխությունների և ուժգնացող մարդածին ճնշումների պայմաններում: Դրանց թվին են պատկանում հոդվածում ներկայացված խնդիրները, որոնց ուղղությամբ ընթանում են հեղինակների հետազոտությունները:

Հոդվածում քննարկվող գիտական հետազոտությունների արդյունավետությունն, իսկ դրանցից մի մասի իրականացումը հնարավոր է

միայն Երկրի դիտարկումների հայկական տվյալների խորանարդի հետազոտական զարգացման դեպքում:

Գրականություն

- Ասատրյան, Հ., Սահակյան Վ., Շուքրյան Յ.** 2017. Գիտական հաշվարկներ և մեծ տվյալներ Ինֆորմատիկայի և ավտոմատացման պրոբլեմների ինստիտուտ, Հաշվողական համակարգեր-Օրագրավորում-Ուսումնական ձեռնարկներ:
- Балашов И.В., Бурцев М.А., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Прошин А.А., Толпин В.А.,** 2009. Построение архивов результатов обработки спутниковых данных для систем динамического формирования производных информационных продуктов. Современные проблемы, Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, В.6, Т.2, с.513-520.
- Asmaryan Sh., Muradyan V., Tepanosyan G., Hovsepyan A., Saghatelyan A., Astsatryan H., Grigoryan H., Abrahamyan R., Guigoz Y., Giuliani G.** 2019. Paving the Way towards an Armenian Data Cube, Data, 4, 117; doi:10.3390/data4030117.
- Chung M., Jung M., Kim Y.** 2019. Wildfire Damage Assessment Using Multi-Temporal Sentinel-2 Data, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-3/W8, GeoInformation for Disaster Management, Prague, Czech Republic.
- Giuliani G., Chatenoux B., De Bono A., Rodila D., Richard J., Allenbach K., Dao H., Peduzzi P.** 2017. Building an Earth Observations Data Cube: lessons learned from the Swiss Data Cube (SDC) on generating Analysis Ready Data (ARD), Big Earth Data Vol., 1, Iss. 1-2.
- Húska D., Jurik E., Tátošová L., Šinka K., Jakabovičová J.** 2017. Cultural Landscape, Floods and Remote Sensin, Journal of Ecological Engineering, Vol. 18, Iss. 3, p.31–36 DOI: 10.12911/22998993/69348.
- Klemas V.,** 2015. Remote Sensing of Floods and Flood-Prone Areas: An Overview, Journal of Coastal Research, Vol. 00, No. 0, 0000, Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208.
- Kyriou A., Nikolakopoulos K.** 2018. Assessing the suitability of Sentinel-1 data for landslide mapping, European Journal of Remote Sensin, Vol. 51, No. 1, p.402–411.
- Lacroixa P., Bièvre G., Pathiera E., Kniessb U., Jongmansa D.** 2018. Use of Sentinel-2 images for the detection of precursory motions before landslide failures, Remote Sensing of Environment 215, p.507-516.
- Lin L., Di L., Yu E., Kang L., Shrestha R., Md. Shahinoor R., Junmei T., Meixia D., Ziheng S., Chen Zh., Lei H.** 2016. A Review of Remote Sensing in Flood Assessment, Center for Spatial Information Science and Systems (CSISS), George Mason University.
- Magno R., De Filippis T., Di Giuseppe E., Pasqui M., Rapisardi E., Rocchi L.** 2019. An Interoperable Climate Service for Drought Monitoring, Institute of BioEconomy (IBE-CNR), Florence, Italy, October, DOI: 10.13140/RG.2.2.25399.88480, Drought Observatory for the IBE-CNR Climate Services.
- Michella A., Domenico F., Mustafee V. and I.,** 2019. Sentinel-2 Vegetation Health Index and EarlyOnset Drought Detection in Kenya, Airbus Defence and Space.
- Nativi S., Mazzetti P., Craglia M.,** 2017. A view-based model of data-cube to support big earth data systems interoperability, Big Earth Data Vol.1, issue 1-2., p.75-100
- Nguyen N., Nguyen B.** 2016. Potential of drought monitoring using Sentinel-2 data, Conference: GeoInformatics for Spatial-Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences (GIS-IDEAS), At Hanoi, Vietnam.
- Niculescu S., Billey A., Talab-Ou-Ali H.** 2019. Random Forest Classification using Sentinel-1 and Sentinel-2 series for vegetation monitoring in the Pays de Brest (France), Université de Bretagne Occidentale, CNRS, LETG Brest UMR 6554 CNRS, France.
- Qi Zh., Liu X.** 2019. Big data: new methods and ideas in geological scientific research, Big Earth Data, 3:1, 1-7, DOI: 10.1080/20964471.2018.1564478.
- Qi Zh., Weidong S., Yong Zh., Fanglin Y., Shoutao J., Wanfeng Ch.** 2019. New discrimination diagrams for basalts based on big data research, Big Earth Data, 3:1, 45-55, DOI: 10.1080/20964471.2019.1576262
- Quintanoa C., Fernández-Mansob A., Fernández-Mans O.** 2018. Combination of Landsat and Sentinel-2 MSI data for initial assessing of burn severity, Int J Appl Earth Obs Geoinformation 64, p.221-225.

- Rizvi S.R., Killough B., Cherry A., Gowda S.** 2018. The Ceos Data Cube Portal: A User-Friendly, Open Source Software Solution for the Distribution, Exploration, Analysis, and Visualization of Analysis Ready Data. In Proceedings of the IGARSS 2018–2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Valencia, Spain, 22–27 July, p.8639–8642.
- Szostak M., Hawrylo P., Piela D.** 2017. Using of Sentinel-2 images for automation of the forest succession detection, *European Journal of Remote Sensing*, Vol. 51, N. 1, p.142–149.
- Tiede D., Sudmanns M., Augustin H., Lang S., Baraldi A.** 2019. Sentinel-2 Semantic Data & Information Cube Austria, Proc. of the 2019 conference on Big Data from Space (BIDS'19), DOI:10.27.60/848593, Germany.
- Urban M., Berger Ch., Mudau T., Heckel K., Truckenbrodt J., Onyango Odipo V., Smit I., Schmulilius Ch.** 2018. Surface Moisture and Vegetation Cover Analysis for Drought Monitoring in the Southern Kruger National Park Using Sentinel-1, Sentinel-2, and Landsat-8, *Remote Sensing* 10(9):1482, DOI:10.3390/rs10091482, Detecting changes in essential ecosystem and biodiversity properties - towards a Biosphere Atmosphere Change Index.
- Vidyapriya V., Kaviya K., Ramalingam Dr.M.** 2019. A Hydrodynamic Model for Urban Flooding Using Remote Sensing and Gis, Institute of Remote Sensing, Anna University, Chennai-600025.
- Wang Y., Wang X., Luo J., Yu Zh., Wang J.** 2019. The quantitative classification of granites and their metallogenetic relations in West Qinling, Gansu Province, China, *Big Earth Data*, 3:1, 56-66, DOI: 10.1080/20964471.2019.1583054.
- Yang Ch., Huang Q., Li Zh., Liu K., Hu F.** 2017. Big Data and cloud computing: innovation opportunities and challenges, *International Journal of Digital Earth*, Vol. 10 issue 1, p.13-53.
- Yao X., Liu Y., Cao Q., Li J., Huang R., Woodcock R., Paget M., Wang J., Li G.** 2018. China Data Cube (CDC) for Big Earth Observation Data: Lessons Learned from the Design and Implementation, (Stefano Nativi In Proceedings of the 2018 International Workshop on Big Geospatial Data and Data Science (BGDDS), p.1–3, Wuhan, China.

БОЛЬШИЕ ДАННЫЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ И АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ И СМЕЖНЫХ ОБЛАСТЯХ В РЕСПУБЛИКЕ АРМЕНИЯ

**Авагян А.А., Асцатрян Г.В., Аракелян А.А., Тарасян Н.А.,
Нерсисян А.О.**

Резюме

Данная статья имеет цель ознакомить читателя с перспективами и возможностями использования больших данных для решения научных задач, актуальных для Армении.

В статье представлена модель организации, обработки и использования таких данных, получившая название «куба больших данных», а также опыт решения научных задач, решаемых методами и технологиями этой модели. Из числа актуальных вопросов в статье рассмотрены принципы архивации спутниковых данных и их подготовки для использования в классе задач оценки качества и количества ресурсов поверхностных вод и прогноза их кратковременных изменений, в том числе - определение закономерностей формирования поверхностного стока в условиях определенного речного бассейна, оперативной оценки величины поверхностного стока и расчета заполненности малых озер и искусственных водоемов, прогноз по данным спутниковых наблюдений возникновения критических поверхностных стоков и опасности наводнения. Также рассматриваются

принципы разработки системы экспертной оценки опасности и прогнозирования возникновения лесных пожаров.

**BIG DATA, PROSPECTS AND CURRENT CHALLENGES OF ITS USE
IN EARTH SCIENCES AND RELATED FIELDS IN REPUBLIC OF
ARMENIA**

**Avagyan A.A., Astsatryan H.V., Arakelyan A.A., Tarasyan N. H.,
Nersisyan A.H.**

Abstract

This article aims to introduce the reader the prospects and possibilities of using big data to solve scientific problems relevant to Armenia. The article presents a model of organization, processing, and use of such data, called "big data cube", as well as experience in solving scientific problems solved by methods and technologies of this model. Among the relevant issues, the article considers the principles of archiving satellite data and preparing them for use in the class of problems for assessing the quality and quantity of surface water resources and predicting their short-term changes, including defining the patterns of surface runoff formation in a particular river basin, operational assessment of surface flow and calculation of the occupancy of small lakes and artificial reservoirs, and forecasting the occurrence of critical surface flow and flood hazards based on satellite observations.

**ԵՎՍ ՄԵԿ ԱՆԳԱՄ IX ԴԱՐԻ ԴՎԻՆԻ (ՀԱՅԱՍՏԱՆ)
ԱՎԵՐԻՉ ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԵՐԻ ՄԱՍԻՆ. ԴԵՊՔԵՐԻ ՔԱՆԱԿԸ ԵՎ
ՆՐԱՆՑ ԹՎԱԳՐՈՒՄԸ**

Հարությունյան Ռ.Ա.

*ԳԱԱ Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտ
0019, Երևան, Մարշալ Բաղրամյանի պող. 24ա,
Հայաստանի Հանրապետություն
e-mail: roubenhar@web.am
Հանձնվել է հրատարակչություն 22.09.2021թ.*

Դվինի IX դարի ավերիչ երկրաշարժերը Հայաստանում տեղի ունեցած ամենահայտնի պատմական երկրաշարժերից են: Սակայն մինչ օրս մասնագետները միակարծիք չեն դրանց բնութագրերի վերաբերյալ: Վիճարկվում են՝ տեղի ունեցած երկրաշարժերի քանակը, տարեթվերը, ավերածությունների տարածքները, ուժգնությունները, վերկենտրոնների տեկտոնական դիրքները: Սույն հոդվածում, պատմական վկայությունների վերլուծության հիման վրա, անդրադառնում ենք առաջին երկու վիճահարույց բնութագրերին, ճշտելով երկրաշարժերի թվագրումը:

Հիմնաբառերը՝ Դվին, պատմական երկրաշարժ, թվագրում:

Նախաբան

Մինչև XX դարի 90-ական թվականները մեզանում տարածված էր այն կարծիքը, որ Դվինում կարճ ժամանակամիջոցում՝ 851-893 թվականներին տեղի են ունեցել 4-5 ավերիչ երկրաշարժ: Դրանց մասին տարբեր պատմագրերի վկայությունները գետեղված էին երկրաշարժերի մասին պատմական վկայությունների ժողովածուներում և մասնագիտական կատալոգներում (Мушкетов и др. 1893, Կոստանեանց, 1902, Бюс, 1948, Ստեփանյան, 1964, Новый каталог, 1977, Карапетян, 1986):

Սպիտակի 1988 թվականի աղետալի երկրաշարժից հետո, երբ ավելի մեծ թվով մասնագետներ ներգրավվեցին Հայաստանի տարածքի երկրաշարժագիտական ուսումնասիրություններում, պարզ դարձավ, որ IX դարում Դվինում տեղի են ունեցել միայն 2 ավերիչ երկրաշարժ՝ 863 և 893 թվականներին (Ambraseis, 1982; Berberian, 1994; Guidoboni et al, 1995): Սակայն մեր այն գործընկերները, որոնք մինչ օրս հիմնվում են վերոհիշյալ և ներկայիս (Годзиковская, 2001, 2012) ռուսա-

լեզու կատալոգների վրա, շարունակում են մնալ Դվինի 4-5 ավերիչ երկրաշարժի թյուր տեսակետին:

Տարաձայնություններ կան նաև այն մասնագետների շրջանում, որոնք ընդունում են Դվինի 2 ավերիչ երկրաշարժերի եղելությունը: Ըստ Թ. Բաբայանի (Բաբայան, 2006) Դվինի առաջին երկրաշարժը տեղի է ունեցել ոչ թե 863, այլ 858 թվականին:

Միակարծություն չկա նաև երկրաշարժերի վերկենտրոնների տեղադրության խնդրի շուրջը՝ հետազոտողների մեծ մասը երկրաշարժերի վերկենտրոնները տեղադրում են Դվինի մերձակայքում (Amb-raseis, 1982; Berberian, 1994; Guidoboni et al, 1995, Բաբայան, 2006), սակայն Ա.Կարախանյանը իր գործընկերների հետ դիտարկում են այլ տեղադրությունների հնարավորությունը, չգալով վերջնական որոշման (Karakhanian et al. 2011. 2016):

Մեր նպատակն է՝ առաջնային պատմական վկայությունների և մինչ այժմ կատարված տարաբնույթ ուսումնասիրությունների և եզրակացությունների հիման վրա, պարզել Դվինի IX դարի ավերիչ երկրաշարժերի տարակարծություններ ունեցող բնութագրերը և տալ պարզաբանումներ: Նախատեսվում է այդ վերլուծությունների արդյունքները հրապարակել 3 հոդվածով, որոնցից առաջինը սույն հոդվածն է:

IX-րդ դարի Դվինի ավերիչ երկրաշարժերի քանակը և նրանց թվագրումը

Առավել համապարփակ Դվինի երկրաշարժերի պատմագրական տվյալների բազմությունը՝ 7-8 դեպք, բերված է Լ.Բարսեղյանի կազմած պատմագրական ժողովածուում (Բարսեղյան, 1995): Այստեղ երկրաշարժերի ժամանակակից պատմագրիքներ Թովմա Արծրունուն (IX-X դդ.) և Հովհաննես Դրասխանակերտցուն (840/850 - 929) են վերագրվում 858թ. ձմռան, 863թ. գարնան և 893թ. ապրիլի դեպքերը, վերջին երկու կարծիքը վերագրվում է նաև Ասողիկին (X-XI դդ.), իսկ հետագա պատմագրերին՝ 851 (854)թ. - Մխիթար Այրիվանեցի (XIII դար), 862թ. - Ինճիճեան (XIX դար), 865թ.- Սամուել Անեցի (XII դար), 869թ. - Մովսես Կաղանկատվացի (Դասխուրանցի) (X դար) դեպքերը: Կասկածից վեր է, որ այդ թվագրումների մեծ քանակը Թովմա Արծրունու և Հովհաննես Դրասխանակերտցու, վկայությունների հետագա (X-XIX դար) պատմագիրների թյուրըմբռնման հետևանք է:

Ինչպես նշվեց վերևում, ներկայումս Հայաստանում հետազոտողների մեծագույն մասը ընդունում է IX-րդ դարում Դվինում տեղի ունեցած միայն երկու ավերիչ երկրաշարժի եղելությունը, սակայն դեռ կա տարակարծություն առաջին երկրաշարժի թվագրման հարցի շուրջ՝ 858, թե 863 թվական:

Առաջին երկրաշարժի թվագրումը: Քանի որ ամենահավաստի համարվում են ժամանակակիցների վկայությունները, ապա որպես

հետագա վերլուծությունների հիմք, ամբողջությամբ մեջբերենք Թովմա Արծրունու և Հովհաննես Դրասխանակերտցու վկայությունները Դվինի առաջին ավերիչ երկրաշարժի ժամանակի մասին:

Ըստ Հովհաննես Դրասխանակերտցու (Դրասխանակերտցի, 1996). *«Հայաստան ուղարկված Ալի Արմանի անունով մի ոստիկան ամիրայետի հրամանով նրան (Աշոտին) կարգում է Հայոց իշխանաց իշխան...»*

«Բայց այդ ժամանակներում Դվին քաղաքում սարսափելի երկրաշարժ է լինում, և շատ տներ, պարիսպներ, ապարանքներ ցնցվում ու փլուզվում են: ... Եվ Ջաքարիա սուրբ հայրապետը... աղերսալի աղոթք էր մատուցում բարեգութ Աստծուն...»

Ըստ Թովմա Արծրունու (Արծրունի, 1985). *«Այս շարժն (893 թ.) ավելի սաստիկ էր, քան այն, որ եղավ հայոց կաթողիկոս Ջաքարիայի ժամանակ, հայերի գերությունից 7 տարի հետո»*

Այսինքն ըստ Դրասխանակերտցու և Արծրունու Դվինում առաջին երկրաշարժը եղել է, երբ.

- կաթողիկոս է եղել Ջաքարիան - (854/855 - 876թթ.),
- արաբական ոստիկանը եղել է Ալի Ալ-Արմանին (862—863թթ.) (Բիթարյան, 1989),
- Աշոտ Ա-ն նշանակված է լինում իշխանաց իշխան - (862-884թթ.) (<https://hy.wikipedia.org>),
- հայերի գերությունից 7 տարի հետո:

Գուիդոբոնին, այս երկրաշարժի մասին պատմական աղբյուրներում եղած հաղորդումների ուսումնասիրության հիման վրա, եկել է այն վիճահարույց եզրակացության, թե դեպքի տարեթվի որոշումը բարդ է, քանի որ այդ հաղորդումները իրարամերժ են և հակասող (Guidoboni et al, 1995): Իր քննարկումների մեջ արվում է մի քանի սխալ պնդում.

- Ըստ Դրասխանակերտցու երկրաշարժը եղել է *«իշխանաց իշխան Աշոտ Բագրատունու մահից հետո»;*
- Ըստ Թովմա Արծրունու, *«երկրաշարժը եղել է հայոց գերությունից յոթ տարի հետո» - այսինքն 859/860 թվականին:*

Կարծիք է հայտնում, որ արաբական լծի տակ գտնվող Հայաստանում, երբ ժամանակագրական համակարգերը խաթարված էին, պատմագրերին դժվար էր որոշել երկրաշարժի իրական տարեթիվը: Հղում կատարելով XII-րդ դարի պատմագիր Սամուել Անեցու հաղորդագրության վրա, նա որպես դեպքի տարեթիվ ընդունում է 863 թվականը: Սակայն, նկատենք, որ Անեցին հստակ չի նշում երկրաշարժի տարեթիվը, քանի որ բոլոր դեպքերը չէ, որ իր մոտ թվագրված են (Անեցի, 1893): Ըստ նրա կողմից պատմական դեպքերի թվարկման շարքի, երկրաշարժը տեղի է ունեցել ՊԿԵ-ՊԿԹ (865-869) թվականների միջակայքում: Սակայն երկրաշարժի անթվագիր հիշատակմանը. *«Բ սուրբ քառասներորդսն շարժմունք անհնարինք՝ տապալեալ յատակեցին զյուրվս՝ տեւեալ գերիս ամիսս»*, հաջորդող անթվագիր գրառումն է՝

«*Բուլղարք կնքեցան*», իսկ դա տեղի է ունեցել 864 թվականին (Кре-
щение Болгарии <https://ru.wikipedia.org>): Այսինքն երկրաշարժը տեղի է
ունեցել ոչ թե 865 թվականից հետո, այլ 864 թվականից առաջ: Պարզ է,
որ Մամունե Անեցու դեպքերի ժամանակագրության մեջ կա թվա-
գրական խառնաշփոթ¹: Այսպիսով, Գուրգոռնիի կողմից Դվինի առա-
ջին երկրաշարժի թվագրման անհաջող փորձը ավարտվել է սխալ
հղումով և պետք է կարծել, որ նա ուղղակի ընդունել է, ինչպես և Բեր-
բերյանը, Ամբրասեյսի թվագրումը:

Թ.Բաբայանը (Բաբայան, 2006), ի տարբերություն այլ հետազո-
տողների, կարծում է, որ առաջին երկրաշարժը տեղի է ունեցել, ոչ թե
863, այլ 858 թվականին:

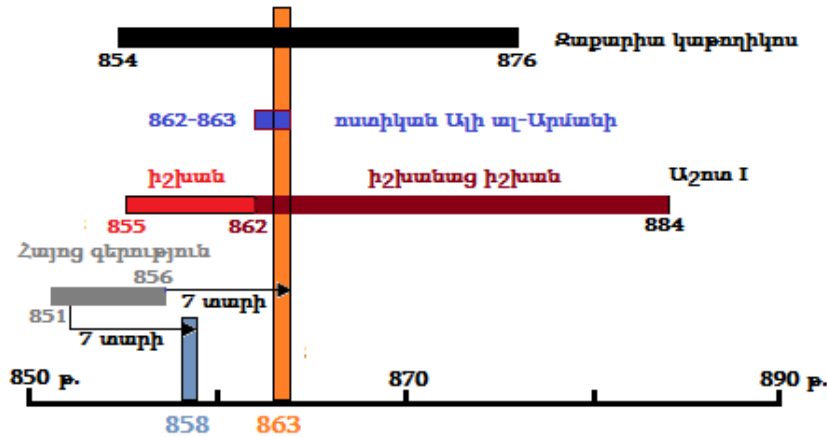
Ըստ նրա երկրաշարժը եղել է այն ժամանակ, երբ.

- կաթողիկոս է եղել Զաքարիան - (854/855 - 876թթ.);
- Աշոտ Ա-ն եղել է իշխանաց իշխան, ինչը ըստ Թ.Բաբայանի
եղել է 855-884 թվականներին;
- ըստ Թովմա Արծրունու վկայության. «*երկրաշարժը եղել է հա-
յերի գերությունից 7 տարի հետո*»: Թ.Բաբայանը ելնելով այն
փաստից, որ հայ իշխանները գերության են տարվել Բուլղայի
կողմից 551 թվականին, համարում է, որ խոսքը գնում է
551+7=858 թվականի մասին: Սակայն այս մոտեցումով հաշ-
վարկից դուրս է մնում գերության առաջին տարին:

Վերջին երկու պնդումը հավաստի չեն, քանի որ իրականում.

- Աշոտ Ա-ն եղել է իշխանաց իշխան ոչ թե (855-884թթ.), այլ 862-
884 թվականներին, իսկ 855-862թթ. նա եղել է իշխան
(<https://hy.wikipedia.org>):
- Նկատենք նաև, որ Ալի ալ-Արմանին, որը «*ամիրապետի հրա-
մանով նրան (Աշոտին) կարգում է Հայոց իշխանաց իշխան*»
(Դրասխանակերտցի, 1996), Հայաստանում ոստիկան է եղել
862—863 թվականներին (Բիթաբյան, 1989):
- Եթե ընդունենք, որ Արծրունին նշելով «*հայերի գերությունից 7
տարի հետո*», նկատի է ունեցել ոչ թե գերի տարվելուց, այլ գե-
րության ավարտից 7 տարի հետո, ապա կստանանք երկրա-
շարժի մեկ այլ թվական: Հենց ինքը Արծրունին նշում է, որ
իշխանները սկսել են վերադառնալ հայրենի կալվածքները 857
թվականից (Արծրունի, 1985), այսինքն գերության վերջին տա-
րին 856 թվականն էր: Այդ տարում Բյուզանդիայի և խալի-
ֆայության միջև վերսկսված պատերազմը և տարածաշրջանում
ստեղծված քաղաքական իրավիճակը ստիպեցին Մուսավաքիլ
խալիֆային փոխել իր քաղաքականությունը Հայաստանի հան-
դեպ և նպաստել հայ իշխանների հզորացմանը (Վարդանյան,
1975):

¹ Ի դեպ Անեցին ճիշտ չի նշում նաև Դվինի երկրորդ երկրաշարժի տարեթիվը՝ ՊՂԸ -
898թ. (Անեցի, 1893):



Նկ.1. Դվինի առաջին երկրաշարժի ժամանակագրությունը ըստ ժամանակակիցների վկայությունների (սլաքներով՝ Արծրունու վկայության Թ.Բաբայանի (858) և հեղինակի (863) գծագրական մեկնությունները):

Այսպիսով, ըստ Դրասխանակերտցու, երկրաշարժը եղել է 862 թվականից հետո, իսկ Արծրունին ճշտում է երկրաշարժի տարին, որը $556+7=863$ թվականն է (նկ.1):

Իրականում Դվինի առաջին երկրաշարժի թվականը հստակ նշում է միայն X-րդ դարի պատմագիր Ասողիկը: Նա միանշանակ հայտնում է, որ երկրաշարժը տեղի է ունեցել 863 թվականին (Ասողիկ, 2000). «Սրա (Աշուտ Ա-ի) օրերում (ՅԺԲ) երեք հարյուր տասներկու թվականին (312+551=863թ.) Քառասնորդաց պահքի փոքր շաբաթում տեղի ունեցավ ահագին մեծ երկրաշարժ...»:

Ելնելով այս տեղեկությունից, որ երկրաշարժը տեղի է ունեցել Քառասնորդաց պահքի ժամանակ, որոշ հետազոտողներ ունեն այն մտայնությունը, թե երկրաշարժը տեղի է ունեցել 863 թվականի գարնանը (Բարսեղյան, 1995): Չի բացառվում, որ նրանք «փոքր շաբաթ» կապակցությունը ընկալել են որպես Ավագ շաբաթի շաբաթ օրը, ինչպես դա ընկալել է և Է.Գուիդոբոնին՝ «Saturday» (Guidoboni et al, 1995):

Սակայն Դրասխանակերտցին հստակ վկայում է, որ երկրաշարժի ժամանակ եղել «*ցրտաշունչ ձմեռային սառնամանիք*» (Դրասխանակերտցի, 1996):

Ըստ Ամբրասեյսի երկրաշարժը տեղի է ունեցել 863 թվականի փետրվարի 13-ին (Ambraseis, 1982): Այս որոշումը հիմնված է X դարի Պաղեստին-Վրացական օրացույցում գետեղված, փետրվարին ամսին վերբերվող, մի կարճ վկայության վրա՝ «13. (Terrae) motus, sancti Demetrii [demetre], et Martiniani [martinianoz] monachi», այսինքն՝ «13, երկրաշարժի, Սբ.Դեմետրիոսի և Մարտինիան վանականի» օրն է (Garitte, 1958):

Գուիդոբոնին ընդունելով երկրաշարժի օրվա այդ որոշումը, նկատում է, որ ըստ գրքի խմբագիր Ջ.Գարիտի, Մր.Դեմետրիուսի օրը, որը Թեսալոնիկում հիշվում է հոկտեմբերի 26-ին, որպես 740 և 989 թվականներին Կոնստանդնուպոլիսում տեղի ունեցած երկու երկրաշարժերի օր (Guidoboni et al, 1995): Ջ.Գարիտը նշում է նաև, որ հայտնի չէ որևէ երկրաշարժ, որը տեղի է ունեցել փետրվարի 13-ին, իսկ այդ օրը հիշատակում են հույները, ղպտիները, եթովպացիները և վրացիները, որպես «առասպելական Մարտինիան ճգնավորի» օր (Garitte, 1958): Հավանաբար Ամբրասեյսը հնարավոր է համարել կապել այդ անհասցե փետրվարյան երկրաշարժը Վրաստանի հարևանությամբ գտնվող Դվինում, IX դարում, ձմռանը տեղի ունեցած երկրաշարժի հետ: Այսինքն փետրվարի 13-ը, որպես Դվինի առաջին երկրաշարժի օր շատ թույլ է հիմնավորված:

Ըստ Թ.Բաբայանի, երկրաշարժը տեղի է ունեցել փետրվարի 14-ին (Բաբայան, 2006), քանի որ այդ օրն է սկսվում 858 թ. Մեծ պաւսը, ինչը չի կարող ընդունվել, որովհետև իրականում, ինչպես ցույց տրվեց վերևում, երկրաշարժը տեղի է ունեցել 863 թվականին:

Փորձենք որոշել, թե որ ամսին և որ օրն է եղել երկրաշարժը ըստ Աստղիկի վերը մեջբերված տեղեկության, ուր նա, հավանաբար այլ ականատեսների չպահպանված վկայությունների հիման վրա, ճշտում է նաև երկրաշարժի ժամանակը:

Աստղիկին կրկնում են հետագա պատմիչներ Սամուել Անեցին (XII դար) և Մխիթար Այրիվանեցին (XIII դար):

Արդեն ցույց ենք տրվել վերևում, որ, ըստ Սամուել Անեցու իրարամեծ տվյալների, երկրաշարժն եղել է 865-869թթ. միջակայքում, սակայն 864 թվականից առաջ. «*Ի սուրբ քառասներորդսն շարժմունք անհնարինք*» (Անեցի, 1893):

Ըստ Մխիթար Այրիվանեցու երկրաշարժը եղել է 854-871թթ. Միջակայքում. ««*Աղ ու հացի*» օրը *կործանիչ երկրաշարժ Դվինում*» (Այրիվանեցի, 1860):

Այսպիսով, ըստ հայ պատմիչների, երկրաշարժը տեղի է ունեցել.

- ցրտաշունչ ձմեռային սառնամանիքին (Դրասխանակերտցի, 1996)
- Քառասներորդաց պահքի փոքր շաբաթում (Աստղիկ, 2000)
- Ի սուրբ քառասներորդսն (Անեցի, 1893)
- «Աղ ու հացի» օրը (Այրիվանեցի, 1860):

863 թվականի Զատիկի օրը ապրիլի 11-ն էր (Калькулятор расчета дня Пасхи, <https://astromenu.com/>), այսինքն, նրանից առաջ 48 օր տևող, Մեծ պահքի առաջին պահեցության օրը փետրվարի 22-ն էր: Այսպիսով Պահքի առաջին շաբաթը (ըստ Աստղիկի՝ «փոքր շաբաթը») համընկել է ձմռան վերջին շաբաթի հետ և կարելի է ընդունել, որ 863 թվականի երկրաշարժը տեղի է ունեցել «Աղ ու հացի» առաջին օրը՝ փետրվարի 22-ին (աղ.1):

863թ.	Մեծ Պահքի հիշարժան օրերը և շաբաթները
Փետրվարի 21	Բուն Բարեկենդան
Փետրվարի 22	Առաջին պահեցողության օրը՝ «Աղ ու հացի» առաջին օրը
Փետրվարի 28	(863թ. Ձմռան վերջին շաբաթը) Պահքի առաջին շաբաթը՝ «փոքր շաբաթը» ըստ Աստղիկի
Մարտի 1	Գարնանային հինգ անցողիկ շաբաթները
Ապրիլի 4	
Ապրիլի 5	Պահքի Ավագ շաբաթը
Ապրիլի 10	
Ապրիլի 11	Ավագ շաբաթի «փոքր շաբաթ» օրը Զատիկ

Երկրորդ երկրաշարժի թվագրումը: Երկրաշարժի ժամանակակից պատմագիրները Թովմա Արծրունին և Հովհաննես Դրասխանակերտցին, թողել են հետևյալ վկայությունները Դվինի երկրորդ և առավել ավերիչ երկրաշարժի մասին: Այս վկայություններում, ինչպես և առաջին երկրաշարժի ժամանակի վերաբերյալ, հստակ տարեթիվ չի տրվում, այլ նշվում է դեպքի ժամանակաշրջանը:

Հովհաննես Դրասխանակերտցին (Դրասխանակերտցի, 1996), հաղորդում է Հայոց թագավոր Սմբատ 1-ի (890-914թթ.) և Ատրպատականի ամիրա Ափշինի (889/890-901թթ.) ռազմական բախումների մասին և տեղեկացնում է. «Այդ ժամանակ՝ զիշերը, հանկարծ սաստիկ երկրաշարժ է լինում Դվին քաղաքում՝ դրա բնակիչներին խուճապի մատնվելով, սարսափեցնելով և դողդոջում, կործանում առաջ բերելով...»

Ըստ Թովմա Արծրունու (Արծրունի, 1985). «Այդ ժամանակներում Հայոց Աշոտ թագավորը... մեռավ հայոց ՅԼԹ թվականին (890թ.), Հայոց կաթողիկոս Գևորգի հայրապետության 15-րդ տարում: Նրա փոխարեն թագավորեց իր որդի Սմբատը...»

Հայոց վրա (Սմբատի) թագավորելու երրորդ տարում աստվածատուր բարկությամբ անդնդաշարժ խառնակումով... սասանեցին երկրի խոր ընդերքի կարծր, ծանրալի ու անկշռելի անբավությունը և վեր մղեցին մինչև երկրի երեսը՝ Արտաշեսի քաղաքի դիմաց, որին անվանում են Բլուր, և որտեղ է թագավորանիստ Դվին քաղաքը...»

Շատ հետազոտողներ կարծում են, որ Սմբատի թագավորման երրորդ տարին 893 թվականն է (890+3=893), սակայն Բնձիճեանը իրավացիորեն նշում են, որ եթե 890 թվականը թագավորելու առաջին տարին է, ապա երրորդ տարին կլինի 892 թվականը (Բնձիճեան, 1822):

Ըստ Ամբրասեյսի (Ambraseis et al., 1982) երկրաշարժը տեղի է ունեցել 893 թվականի դեկտեմբերի 28-ին, համաձայն արաբ պատմագիր ալ-Տաբարիի (839-923) կողմից ներկայացված Դվինի երկրաշարժի մասին պաշտոնական նամակի (al-Tabari, 1985). *«Համաձայն հաղորդագրություններին, 280 թվականի Դհու-ալ-Հիջա ամսին (11 փետրվարի - 12 մարտի 894թ.) Դաբիլից Բաղդադ հասավ նամակ, որով տեղեկացվում էր, որ տեղի է ունեցել լուսնի խավարում 280թ. Շավվալ ամսվա 14-ին (27 դեկտեմբերի 893): Գիշերվա վերջում լուսինը նորից երևաց, բայց երբ բնակիչները առավոտյան զարթոնեցին, մութ էր և մթությունը շարունակվում էր: Կեսօրից հետո սկսեց փչել ուժեղ սև քամի: Դա շարունակվում էր մինչև գիշերվա առաջին երրորդը: Երբ այդ ժամը անցավ, տեղի ունեցավ երկրաշարժ»:*

Այստեղ պետք է նկատել, որ մեր ստուգումը ցույց տվեց, որ համաձայն Հիջրա-Հուլիյան տոմարների տարեթվերի տարբեր փոխարկիչների (<https://www.searchtruth.com/hijri/>; <https://calendarhome.com/calculate/convert-a-date>; <https://www.muqawwim.com/>; <https://www.fourmilab.ch/documents/calendar/>), 280թ. Շավվալ ամսվա 14-ը բոլոր դեպքերում համապատասխանում է 893 թվականի դեկտեմբերի 27-ին:

Այսպիսով լուսնի խավարումը միանշանակ տեղի է ունեցել 893 թվականի դեկտեմբերի 27-ին, իսկ երկրաշարժը համապատասխանաբար դեկտեմբերի 28-ի գիշերը (Ambraseis et al., 1982; Berberian, 1994), իսկ կարծիքը, թե երկրաշարժը տեղի է ունեցել դեկտեմբերի 27-ին (Բաբայան, 2006; Новый каталог, 1977; Guidoboni et al, 1995) թյուրբմբման հետևանք է, քանի որ այդ օրն եղել է երկրաշարժը նախորդող լուսնի խավարումը (al-Tabari, 1985):

Եզրակացություն

Պատմական վկայությունների վերը շարադրված վերլուծության հիման վրա կարող ենք եզրակացնել, որ.

- IX դարում Դվինում տեղի է ունեցել միայն երկու ավերիչ երկրաշարժ;
- առաջին երկրաշարժը տեղի է ունեցել 863 թվականի փետրվարի 22-ին;
- երկրորդ երկրաշարժը տեղի է ունեցել 893 թվականի դեկտեմբերի 28-ի գիշերը:

Հեղինակը շնորհակալ է հոգվածի գրախոսող Արա Ավագյանին հոգվածի գործնական քննարկման և առաջարկված ուղղումների համար:

Գրականություն

- Այրիվանեցի Մխիթար.** 1860. Պատմություն հայոց, Մոսկվա, տպ. Լազարեան ճեմարանի, 69 էջ:
- Անեցի Սամուել.** 1893. Հաւաքմունք ի գրոց պատմագրաց: Վաղարշապատ, տպ. Ս. Էջմիածնի, 301 էջ:
- Ասողիկ - Ստեփանոս Տարունցի.** 2000. Պատմություն տիեզերական, Երևան, ԵՊՀ հրատ., 456 էջ:
- Արծրունի Թովմա և Անանուն.** 1985. Պատմություն Արծրունյաց տան, Երևան, «Սովետական գրող», 407 էջ:
- Բաբայան Թ.** 2006. Հայաստանի Հանրապետության, Արցախի և հարակից տարածքներում հնագույն ժամանակներից մինչև 2003 թվականը տեղի ունեցած ուժեղ երկրաշարժերի ատլաս, Երևան, «Տիգրան Մեծ», 140 էջ:
- Բարսեղյան Լ.Ա.** 1995. Պատմական վկայությունները Հայկական լեռնաշխարհի երկրաշարժերի մասին, Երևան, «Գիտություն», 66 էջ:
- Բիթարյան Մ.Մ.** 1989. Արմինիայի արաբ ոստիկանների ժամանակագրությունը. Լոաբեր Հասարակական Գիտությունների, № 6, էջ 93-97.
- Դրասխանակերտցի Հովհաննես.** 1996. Հայոց պատմություն, Երևան, ԵՊՀ հրատ., 397 էջ:
- Ինժիճեան Ղ.** 1822. Ստորագրություն Հին Հայաստանեայց: Վենետիկ, Սր. Ղազար, 553 էջ:
- Վաղանկատվացի (Դասխուրանցի) Մովսես.** 169. Պատմություն Աղվանից աշխարհի, Երևան, «Հայաստան», 321 էջ:
- Վոստանեանց Վ.** 1902. Շարժի տարեգրությունը Հայոց մէջ, Թիֆլիս, «Լուսա», 24 էջ:
- Ստեփանյան Վ.Ա.** 1964. Երկրաշարժերը Հայկական լեռնաշխարհում և նրա մերձակայքում, Երևան, «Հայաստան», 246 էջ:
- Վարդանյան Ռ.Հ.** 1999. Հայոց տոնացույց (4-18-րդ դարեր), Երևան, «Գիտություն», 646 էջ:
- Баласанян С.В.** 2018. Современная сейсмотектоническая активность Ереванского разлома, кандидатская диссертация, Ереван, НАНА ИГН, 151с.
- Бюс Е.И.** 1948. Сейсмические условия Закавказья. Часть 1. Хронология землетрясений в Закавказье. Тбилиси, изд. АН ГрузССР, 304с.
- Годзиковская А.А.** 2012. Карточный каталог землетрясений Кавказа. Обнинск, изд. РАН, 135с.
- Годзиковская А.А.** 2001. Каталог землетрясений Кавказа с $M \geq 4,0$ ($K \geq 11,0$) с древнейших времен по 2000г. / Сост. А.А. Годзиковской. - <http://zeus.wdcb.ru/wdcb/sep/caucasus/catrudat.html>
- Мушкетов И.В. Орлов А.** 1893. Каталог землетрясений Российской империи, Санкт-Петербург, Типография Императорской Академии Наук, 582с.
- Калькулятор расчета дня Пасхи с 356 по 4099 год.** <https://astromenu.com/Astrologicheskaya-spravka/Kakogo-chisla-Pascha-Raschet-dati-pravoslavnoy-i-katolicheskoy-Paschi-s-356-po-4099-god>
- Կարապետյան Ն.Կ.** 1986. Механизм возникновения землетрясений Армянского нагорья. Ереван, изд-во АН АрмССР, 228с.
- Новый каталог сильных землетрясений с древнейших времен до 1975 г.** 1977, Москва, Наука, ред. Н.В.Шебалин, Н.В. Кондорская, 536с.
- al-Tabari.** 1985. History of al-Tabari, Vol. 38: The Return of the Caliphate to Baghdad, New York, State University Press, 239p.
- Ambraseys N.N. and Melville C.P.** 1982. A history of Persian earthquakes. London, Cambridge University Press, 219p.
- Berberian M.** 1994. Natural Hazards and the First Earthquake Catalogue of Iran, vol. I, Hist. Haz. in Iran Prior to 1900, IIEES, July, 631p.
- Garitte G.** 1958. Le calendrier palestinogéorgien du Sinaiticus 34 (X^e siècle). Brussels, “Société des Bollandistes”, 487p.
- Guidoboni E. and Traina G.A.** 1995. A New Catalog of Earthquakes in the Historical Armenia Area from Antiquity to the 12th Century, Annali di Geofisica, vol. XXXVIII, N1, March, p.85-147.

- Karakhanyan A., Avagyan A., Baghdasaryan H., Avanesyan M., Arakelyan A.** 2011. Seismic hazard assessment for the construction site of a new power unit of the Armenian NPP/ Final Report /Geological database/ "NorAtom" Consortium, Draft Version, February 2011, 274 p.
- Karakhanyan A.S., Arakelyan A., Avagyan A., Sadoyan T.** 2016. Aspects of the seismotectonics of Armenia: New data and reanalysis, in Sorkhabi, R., ed., Tectonic Evolution, Collision, and Seismicity of Southwest Asia: In Honor of Manuel Berberian's Forty Years of Research Contributions: Geological Society of America Special Paper 525, p.445-477.

ЕЩЕ РАЗ О РАЗРУШИТЕЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ IX ВЕКА В ДВИНЕ (АРМЕНИЯ): КОЛИЧЕСТВО СОБЫТИЙ И ИХ ДАТИРОВКА

Арутюнян Р.А.

Разрушительные землетрясения IX века в Двине одни из наиболее известных исторических землетрясений в Армении. Однако по поводу их параметров до сих пор нет единого мнения. Считаются спорными мнения о следующих параметрах: количество разрушительных землетрясений, даты событий, территория разрушений, интенсивность, тектоническая позиция эпицентров. В настоящей статье, на основе анализа исторических свидетельств, обсуждаются первые два оспариваемых параметра, путем уточнения дат событий.

THE DESTRUCTIVE EARTHQUAKES OF THE 9TH CENTURY IN THE DVIN (ARMENIA) REVISITED: QUANTITY OF EVENTS AND THEIR DATING

Haroutiunian R.A.

The destructive earthquakes of the 9th century in the Dvin are one of the most famous historical earthquakes in Armenia. However, there is still no consensus about their parameters. The opinions about the following parameters are considered controversial: the quantity of destructive earthquakes, the dates of events, the territory of destructions, the intensity, the tectonic position of the epicenters. In this article, based on the analysis of historical evidence, the first two disputed parameters are discussed, by clarifying the dating of events.

NATURAL ENVIRONMENTAL

**ANALYSIS OF EFFECTS OF THE CLIMATE CHANGE IN THE
CONTEXT OF CLIMATE JUSTICE IN DEBED RIVER BASIN OF THE
REPUBLIC OF ARMENIA AND PUBLIC AWARENESS ABOUT IT**

Sahakyan N.A.¹, Mkrtumyan A.S.², Grigoryan G.R.¹

¹*Geological Museum after H.T. Karapetyan IGS NAS RA,
24a M. Baghramyan Ave., Yerevan 0019, Republic of Armenian*

²*Chair of Geography and its Teaching Methods,
Armenian State Pedagogical University,
17 Tigran Mets Ave., Yerevan, Republic of Armenian*

E-mail: nareksahakyan123@mail.ru

Received by the Editor 29.04.2021

Climate change has become a contemporary issue globally, regionally and locally. The aim of the paper is to discuss the effects of "climate in/justice" related to extreme weather impacts and local inhabitants' poverty in Debed river basin in the Republic of Armenia (RA). Based on analysis of available scientific literature, we notice that climate change already affected the air temperature (+1,3°C), precipitation (about - 10%), average annual water volume of river (decreased by 16 million m³), and extreme weather conditions in the basin during last decade.

We considered climate inequality issues according to four principles of Mary Robinson Foundation of the research area, which is the novelty of our paper. Debed river basin is affected by climate change negatively. The natural environment and the local population have climate justice issues in this area. Future research should stress adaptation and mitigation strategies to find solutions in local, regional and global levels.

Keywords: Debed River; Climate Change; Climate Justice; Mary Robinson Foundation Principles

Introduction

Climate Change is a contemporary issue, which has a significant influence on the Earth and its ecosystems by causing changes in weather patterns, sea levels, and water flows of rivers, biodiversity, and deforestation. It also busts social and political issues. Thus, the awareness of this topic is vital to avoid future dramatic and costly effects at the global, regional, and local levels. The aim of this paper is to discuss the issues of climate inequality bringing out issues of "climate in/justice" related by extreme weather impacts and local inhabitants' poverty in Debed river basin in the Republic of Armenia (RA), which is a unique area with one of the largest forest cover in RA. In this paper, we intended to answer the following research questions:

- To what extent does climate change affect the water flow of the Debed river? To clarify this question, we imply that the answer to this question will help us to determine if climate change has a specific influence on our research area.
- How do we address issues of climate inequality and "climate in/justice" in the area of the Debed river basin? By answering this question, we will discuss real-world situation of the case study and analyze the relationships of Mary Robinson Foundation criteria of Climate Justice.
- What strategies do we suggest for solutions of climate justice issues in the Debed river basin? This question will guide us to think about adaptation and mitigation strategies to face Climate Change and Climate Justice issues in the basin of the Debed river.
- How to inform the public about it through the Geological Museum after H.T. Karapetyan.

The state of the issue

Climate Change is the defining problem of the current times. From shifting weather patterns that threaten food production, to rising sea levels that increase the risk of catastrophic flooding, the impacts of climate change are global in scope and unprecedented in scale. Without drastic action today, adapting to these impacts in the future will be more difficult and costly. Because of climate change, there are many different problems in the world (7). Due to the problem of water use, there are problems in using water resources, and especially for agriculture. In some places there are even wars for water, the Sahara and other deserts increase their territories in exchange of savannah and forests.

Global climate change is a truly important issue for the humanity, so the solution to this problem has been included in the UN Sustainable Development Goals (13th goal). A number of conferences have been organized to address this issue; several agreements have been adopted by UN member states, in particular, the Kyoto Protocol, Paris.

The main policy is to reduce industrial waste from major industrial countries to mitigate climate change and the reasonable utilization of all natural resources.

Climate change is a global challenge that has no borders and combating it requires coordinated work by all countries. Unfortunately, many countries do not have any effect on climate changes, but will suffer the consequences.

One of these countries is Armenia. Armenia does not have a large industry, and itself has very little influence on climate change throughout the world, but the global climate change affects Armenia too. The fact that Armenia is located in the subtropical zone of the ridges of the central part of the Lesser Caucasus significantly affects the climate of the country, in latitudes characterized by a manifestly arid and continental climate. The climatic features of the country are determined by its mountainous terrain. The assessed changes show that during the past 80 years the increase in annual temperature by 1.3⁰C and reduction in precipitation by 10% were observed (5).

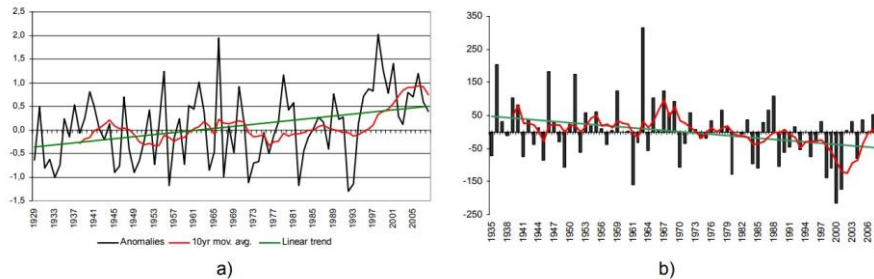


Figure 1: Observed annual air temperature (a) and precipitation (b) anomalies compared to 1961-1990 baseline mean (black line), their decadal moving averages (red line) and linear trends (green line)

(Source: 4 p. 5)

Case study of Debed river basin in the Republic of Armenia (RA).

Armenia's rivers are the streams of the South Caucasian major rivers Araks and Kura, the total length of the latter being around 25,000 km. Debed river (178 km) is one of the tributaries of Kura River, which flows through the area of the Republic of Armenia (RA) and the Republic of Georgia. In addition, Debed is one of the major rivers of RA (average annual water volume is 1070 mil m³). This unique area was chosen as a case study of our research, as the basin of the river is covered by forests, which are about 30% of RA total forest area, and deforestation is a vital problem in RA. The catchment of the river has been populated since the ancient times and now it has a population of about 230 000, most of them (above 60%) are involved in agriculture and already face negative effects of extreme weather conditions. Climate change has become an issue in Debed river basin, as high temperature and low snow cover, hails and flooding took place during the recent decade many times. Because of high temperature in winter, snow cover does not formulate sufficiently, which causes decreasing water flow in Debed and its tributaries (5).

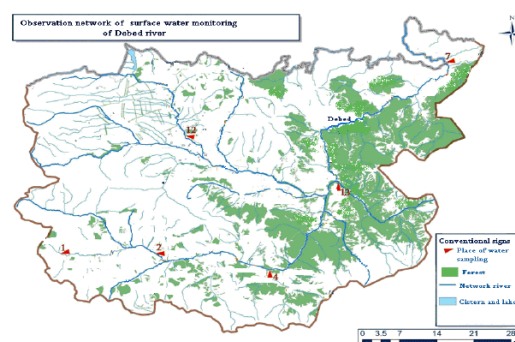


Fig.3 Debed River Basin in the Republic of Armenia (Source: (2))

This report focuses on two Sustainable Development Goals – Climate action and no poverty. The Global Climate Change impacts the Debed river water regime, generally reducing the number of precipitation in the study area,

resulting in problems with irrigation (7). As a consequence of this, the population is unable to carry out normal agricultural work because of the lack of water. Climate change increases the average ambient air temperature in the Debed basin (1961-1990) ranging from 0.2 to 0.6°C. The amount of precipitation has dropped by about 10%. From 2009 to 2020, the average annual flow of Debed river decreased by 4m³/sec., and the average annual water volume decreased by 16 million m³ (5). Since agriculture is the main occupation of the majority of the population in the study area, the issue of irrigation also poses a problem of poverty growth (6).

Table 1

Meteorological stations of Debed River basin and their features (Source 7)

METEOROLOGICAL STATIONS				
N	name	Elevation, m	Annual mean precipitation, mm	SNOW COVER, SM
1	Debedashen	453	444	
2	Mecavan	1573	663	-
3	Shnogh	656	505	7
4	Alaverdi	721	516	5
5	Tashir	1507	713	17
6	Stepanavan	1397	683	19
7	Odzun	1127	554	-
8	Urasar	1547	785	-
9	Tumanyan	1200	597	10
10	Pushkino	1522	702	21
11	Spitak	1552	439	12
12	Vanadzor	1350	589	17
13	Lermontovo	1798	708	30

Local people, especially farmers who use water resources of Debed for irrigation, are involved to solve this problem. Local businesses, municipalities, and other governmental organizations are also involved whose concern should be the reduction of the impact of global climate change on this area and the prevention of its poverty growth. This issue should also be the focus of attention of relevant scientists and specialists.

The main focus of our research is based on adaptation strategies, although mitigation also is one of significant aspects of our thoughts.

Applying the principles of Climate Justice according to the Mary Robinson Foundation in Debed river basin of the Republic of Armenia (RA)

Guided by the core principles the Mary Robinson Foundation, Climate Justice dedicates itself to action in order to realize its vision of a world engaged in the advancement of climate justice. Below, the principles considered for the application in the Debed river basin, are discussed as these might have significant changes in the reality of our research area and are urgent. Climate variability is predicted to bring about significant changes especially in agricultural production and production systems (3).

Respect and Protect Human Rights. “The huge injustice of climate change is that it is those who have done the least to cause the problem – the most vulnerable, from the world's poorest communities – who are hardest hit” (Alex Salmond MSP, Scotland’s First Minister). This statement is true about our case study too, as it does not have a major role in the global share of pollution, but it faces the reality of changed climate. The Global North pollutes the environment by using natural resources and emissions directly or indirectly affecting the whole world. The Republic of Armenia protects human rights, provides equal opportunities for social, economic well-being for its citizens based on the Constitution and the international agreements related to human right protections. In fact, there are all legal backgrounds to have a dignified and worthy life in RA. But the reality of Debed river basin is that climate change causes local inhabitants’ poverty (both absolute and relative), which contravenes people’s well-being by causing health problems, social and psychological issues of the society. Moreover, as the basin is mainly agricultural and semiarid area, expenses for irrigation rose last decade. Drinking water and food prices are higher with nearly the same income conditions. Forests produce less fruits and wood, which used to bring some money. All these additional costs push local inhabitants to have low quality of life, sometimes even migrate to other regions or countries to have more water and food access. We would suggest developing water management system in the region and decrease taxes to encourage people to stay in the Debed river basin, which traditionally used to be one of the most profitable agricultural areas.

Highlight Gender Equality and Equity. Gender Equality and Equity is widely appreciated in RA, which is recorded in the Constitution and social norms of RA. We have a law of “Protection against violence in family, protection of victims in family and restoration of family in family” to address gender issues.

Climate change affects the productivity of crop, livestock and fishery systems disrupting food distribution, markets, and access to food. Debed river area is cultivated by growing various subtropical plants. It is the second largest area by grape and peach production in RA. Due to the lack of water access in the highly populated areas and irrigation, profitability for agricultural products has decreased. Therefore, some farmers (men) prefer either to switch to other jobs, such as car service and construction, or migrate to other regions or

countries to earn some money. As a result, the main burden of household, agriculture work remains on women, who are also responsible for bringing up their children. Therefore, it is vital to make adaptation policies for the whole society to avoid women's overload and protect their constitutional rights based on SDG strategies. This statement especially refers to low-income families which cannot afford to have workers in farms. These issues are also discussed at the level of laws in Armenia (1).

Support the right to development. There are poor farmers who suffer a lot because of anomalous climatic phenomena in this area: droughts, hail, etc. Due to these disasters, the expenses of the poor increase and the quality of life falls. As a matter of fact, they are more vulnerable to global climate change. Wealthy farmers suffer less from natural disasters, as they have an income compared to the poor, whose land and animals are few.

Share Benefits and Burdens Equitably. The Alaverdi Copper-Molybdenum Combine operates in a research area that pollutes the environment, including the Debed River, through which irrigation is done. The company invests some money for social and environmental protection projects to decrease the damage to the local population and the environment. The investment implements several social programs aimed at improving the welfare of the local population. Governmental investments were also made, anti-hail stations were created, which partially alleviates the situation.

Discussion

As a result of our study, we have arrived to the conclusion that global climate change has affected the Debed River and surrounding areas, since the average temperature in this region has increased by about 1,3 degrees over the past 80 years, and the annual rainfall has decreased the water level in the river by 10 percent. In addition, droughts and hail here have become more frequent (5).

In this area of climate justice, there are certain issues that we have seen in need of certain solutions in line with Mary Robinson's Foundation.

It also became clear that climate change has a negative effect on women, as they perform heavy agricultural work instead of men. And men, in order to provide for their family, go abroad to work.

In Debed river basin, we addressed several issues of climate change and climate inequity, and for some we could offer certain solutions.

This area generally does not have major impact to climate change, but suffers from its negative effects, so adaptation strategies should be used in this area (equipment to reduce environmental pollution, cash compensation for farmers, etc.). This issue should always be the focus of attention of the governing bodies, and appropriate protective work should be carried out.

In particular, some investments in this region or financial compensation are needed to protect against the adverse effects of climate change (frequent

droughts, anomalous hail, water scarcity of Debed river, poor rainfall, forest degradation).

Investments can be made for a number of operations, such as building a reservoir that will properly use water from the Debed river, partly to prevent drought, build hail stations, and so on.

In addition, it is possible to organize several workshops among the local population, which will help to adapt to the effects of climate change and to farm correctly.

Thus, we have seen that the questions raised have certain ways to solve them.

It is very important to inform the public about this topic, because it is the availability of knowledge and information that leads to protection. To this end, we propose to hold special seminars-discussions with the local population at the Geological Museum of IGS NAS RA, to organize an educational program on global climate change for schoolchildren, in order to raise awareness among them.

Conclusion

Climate Change already has an impact on the Debed river basin by causing extreme weather conditions and decreasing productivity of agriculture and life quality. It also stimulates human migration which, in its turn, affects women's daily overloaded life especially in low income communities. Therefore, we suggest SDG-based adaptation projects be fulfilled in this area. It is vital to have efficient collaboration of the government, businesses, and local people to improve adaptation programs for the most vulnerable communities and people. The issue of Climate Justice and Equality is a new research area for Debed river basin, as there is a lack of specific information and research on this topic, which could provoke the attention of the environmental protection organizations, the government, and local citizens.

References

- Armenian legal information system. Available from: <https://www.arlis.am/documentview.aspx?docID=118672> [03.05.2019].
- Badasyan I.** 2015. Water Quality and Macroinvertebrate Communities Monitoring of Catchment Basin of Debed River in Armenia in Spring in 2015, Research & Reviews: Journal of Ecology and Environmental Sciences, Volume 3, Issue 3, p. 36-40.
- Mary Robinson Foundation, climate justice.** Available from: <https://www.mrfcj.org/principles-of-climate-justice/> [17.04.2021].
- Ministry of Nature Protection of RA.** 2009. Vulnerability of water resources in the Republic of Armenia under climate change, Yerevan, p. 27.
- UNDP Climate Change Program in the Republic of Armenia.** 2016. Mitigation of Climate Change Risks of Rural Communities through Improved Local Development Planning, Yerevan, p. 47.
- ՀՀ վիճակագրական կոմիտե,** 2017, Աղքատության պատկերը հայաստանում 2008-2016թթ. Երևան, 124 էջ:
- Մնացականյան Բ.Պ., Թադևոսյան Գ.Պ.** 2007. Լոռու կլիման և ջրերը, Երևան, 292 էջ:

**ՀՀ ԴԵՔԵԴ ԳԵՏԻ ԱՎԱԶԱՆՈՒՄ ԿԼԻՄԱՅԻ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅԱՆ
ՀԵՏԵՎԱՆՔՆԵՐԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ՝ ԿԼԻՄԱՅԱԿԱՆ
ԱՐԴԱՐԱԴԱՏՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԱՏԵՔՍՏՈՒՄ ԵՎ ԴՐԱ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ
ՀԱՆՐԱՅԻՆ ԻՐԱԶԵԿՈՒՄ**

Սահակյան Ն.Ա., Մկրտումյան Ա.Ս., Գրիգորյան Գ.Ռ.

Ամփոփում

Կլիմայի փոփոխությունը դառնում է ժամանակակից խնդիր գլոբալ, տարածաշրջանային և տեղական մակարդակներում: Հոդվածի նպատակն է քննարկել ՀՀ Դեքեդ գետի ավազանում «կլիմայական ան/արդարադատության» հետևանքները՝ կապված ծայրահեղ եղանակային փոփոխությունների ազդեցության և աղքատության հետ: Հիմք ընդունելով առկա գիտական գրականության վերլուծությունը, մենք նկատում ենք, որ կլիմայի փոփոխությունը արդեն ազդել է օդի ջերմաստիճանի (+ 1,3°C), տեղումների (մոտ -10%), գետի ջրի միջին տարեկան ծավալի (նվազել է 16 մլն մ³-ով) և վերջին տասնամյակում ավազանի եղանակային պայմանների վրա:

Մենք ուսումնասիրեցինք հետազոտվող տարածքում կլիմայի անհավասարության խնդիրները՝ համաձայն Մերի Ռոբինսոնի հիմնադրամի չորս սկզբունքների, ինչը սույն հոդվածի նորությունն է: Կլիմայի փոփոխությունը բացասաբար է ազդում Դեքեդ գետի ավազանի վրա: Բնական միջավայրը և տեղական բնակչությունն այս ոլորտում ունեն կլիմայի արդարադատության խնդիրներ: Ապագա հետազոտությունները պետք է ուշադրություն դարձնեն հարմարվողականությանը և խոցելիության մեղմացմանը՝ տեղական, տարածաշրջանային և գլոբալ մակարդակներում լուծումներ գտնելու համար:

**АНАЛИЗ ПОСЛЕДСТВИЙ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В
КОНТЕКСТЕ КЛИМАТИЧЕСКОЙ СПРАВЕДЛИВОСТИ В
БАССЕЙНЕ РЕКИ ДЕБЕД РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ И
ОБЩЕСТВЕННАЯ ОСВЕДОМЛЕННОСТЬ ОБ ЭТОМ**

Саакян Н. А., Мкртумян А.С., Григорян Г. Р.

Резюме

Изменение климата становится актуальной проблемой на глобальном, региональном и местном уровнях. Целью данной статьи является обсуждение последствий «климатической не/справедливости» в бассейне реки Дебед Республики Армения в связи с воздействием экстремального изменения погоды и бедности. На основе анализа существующей научной литературы отметим, что изменение климата уже повлияло на температуру воздуха (+ 1,3°C), количество осадков (около -10%), среднегодовой

объем воды реки (уменьшен на 16 млн ^{м3}) и погодные условия в бассейне за последнее десятилетие.

Мы исследовали климатическое неравенство в исследуемой области в соответствии с четырьмя принципами Фонда Мэри Робинсон, что является новинкой данной статьи. Изменение климата отрицательно сказывается на бассейне реки Дебед. Природная среда и местное население сталкиваются с проблемами климатической справедливости в этой области. Дальнейшие исследования должны быть сосредоточены на адаптации и уменьшении уязвимости для поиска решений на местном, региональном и глобальном уровнях.

ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

АРКАДИЙ СТЕПАНОВИЧ КАРАХАНИЯН
(к 70-летию со дня рождения)



19 марта 2021г. исполнилось 70 лет со дня рождения выдающегося геолога, известного специалиста в области активной тектоники и современной геодинамики, доктора геологических наук Аркадия Степановича Караханяна (1951-2017).

А.С. Караханян родился в г. Ереване, в 1951г. После окончания учебы на геологическом факультете ЕГУ в 1973г. поступил на работу в Институт геологических наук. В 1983 г. в МГУ успешно защитил кандидатскую диссертацию по теме *“Линеаменты Анатолийско-Кавказского и Иранского региона по данным дистанционного зондирования”*, а в

1995г. в Институте Физики Земли РАН - докторскую диссертацию, по теме *“Активные разломы и сильные землетрясения Анатолийско-Малокавказского орогена”*. В дальнейшем, в 1992-1995гг., работал в Национальной Службе Сейсмической Защиты Армении, на должности эксперта и заместителя генерального директора по науке. С 1995г. возглавлял отдел геодинамики и геологических опасностей ИГН. В 1998 году А. Караханян основал научно-исследовательскую компанию “Геориск”, которую возглавлял в 1998-2006 гг. В 2006 он был избран директором ИГН и руководил им до марта 2017 года. Именно в эти годы наиболее ярко проявились его научные и организационные навыки.

А.С. Караханян являлся крупным ученым и организатором геологической науки Армении, получившим известность далеко за ее пределами.

Он был одним из первых, кто после катастрофического Спитакского землетрясения 1988г. провел изучение поверхностного разрыва в зоне сочленения северного сегмента Гарнийского разлома с Памбак-Севан-Сюникским разломом, что шло вразрез с общепринятым у геологов и сейсмологов того времени мнением о невозможности возникновения на Южном Кавказе землетрясений подобной силы. С тех пор А.С. Караханян сумел поставить исследования в области активной тектоники и оценки сейсмического риска и других геологических опасностей в Армении на новый высокий уровень. Он был ученым с мировым именем, его научный

авторитет был настолько высок, что его неоднократно приглашали для проведения исследовательских работ в Иран, Грузию, Турцию, Кипр, Сирию, Египет, Казахстан, Россию. В течение своей научной карьеры А.С. Караханян руководил десятками местных и международных научных и прикладных проектов.

Будучи принципиальным, трудолюбивым и исключительно требовательным как к себе, так и к коллегам, он уделял особое внимание развитию новых направлений в Институте. С именем А.С. Караханяна связано создание и развитие научных школ активной тектоники, палео- и архео-сейсмологии в Армении. Будучи творческой, конструктивной и успешной личностью, он одновременно уделял большое внимание подготовке молодых кадров. Несколько поколений его учеников продолжают работать и созидать в Институте геологических наук, где многие научно-организационные начинания А.С. Караханяна получили свое дальнейшее развитие. Так, успешно расширяется и модернизируется в рамках международного сотрудничества, созданная в ИГН в 2012г. под его руководством сеть сейсмических и GPS наблюдений, продолжаются исследования активных разломов и современной геодинамики, геологических опасностей.

Аркадий Караханян внес крупный вклад в развитие геологической науки и в подготовку квалифицированных научных кадров в Армении. А.С. Караханян являлся автором нескольких монографий, десятков научных статей, которые были опубликованы как в местных, так и в международных авторитетных научных журналах, в частности *Tectonophysics*, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, *Bulletin of the Geological Society of America - Special Papers*, *Annals of Geophysics*, *Geodinamica Acta*, *Journal of Quaternary Science*, *Paleorient*, *Journal of Geological Science of Japan*, *Journal of Seismology*. Особо стоит отметить две последние его научные статьи, принятые к печати в конце 2016г. и опубликованные в 2017г., в *Bulletin of the Geological Society of America - Special Papers*, где А.С. Караханян и соавторы обобщили новые данные по сеймотектонике Армении и региона, а также по археосейсмологии наиболее протяженного Памбак-Севан-Сюникского активного разлома в Армении.

А.С. Караханян успешно руководил многочисленными научными и научно-прикладными проектами, имевшими ощутимый практический результат и большое значение для устойчивого развития Армении. В этой связи следует прежде всего отметить исследования по оценке сейсмического риска для Еревана, Гюмри, Дилижана, Капана и др. городов по проектам в рамках Программы Развития ООН; руководство созданием новой карты сейсмического районирования Армении (по проекту Всемирного Банка), официально утвержденной Правительством Армении, в основу которой вошли сеймотектоническая модель территории Армении, созданная в результате многолетних исследований им и его коллегами; масштабный проект по оценке сейсмической и вулканической опасности площадки Армянской Атомной станции в 2009-2011гг., когда обсуждался

вопрос о строительстве нового блока АЭС в Армении. Работа была выполнена в соответствии со стандартами МАГАТЭ и в дальнейшем была принята международными экспертами с высокой оценкой. А.С. Караханян руководил научно-прикладным геолого-геофизическим проектом по исследованию потенциала геотермальной энергии в Армении (2009-2012), а в дальнейшем был консультантом проекта Всемирного Банка по возобновляемым ресурсам (2015-2016) по вопросам подготовки и проведения буровых работ для разведки ресурсов Каркарского геотермального поля на юго-востоке Армении. Широта научных интересов и эрудированность А.С. Караханяна нашли свое выражение в исследованиях, которые он организовал на стыке различных научных дисциплин – геологии, археологии, экологии и истории. В результате сотрудничества с армянскими и иностранными археологами геологи Армении внесли большой вклад не только в изучение, но и в открытие важных археологических памятников нашей страны.

К сожалению, жизнь А.С. Караханяна внезапно оборвалась 13 ноября 2017г. на 67 году жизни, в расцвете творческих сил, оставив неоконченными ряд проектов, публикаций и научных планов.

После его преждевременной кончины, коллегами Аркадия Степановича многое было сделано для увековечивания его памяти. В г. Лион (Франция) 6-7 ноября 2018г. была проведена международная научная конференция, посвященная его памяти: “Ancient Armenia at the crossroads, in honor of Arkady Karakhanyan”. Конференция была организована совместными усилиями ИГН НАН РА и CNRS Archéorient, Франция, и обобщила десятилетнюю деятельность армяно-французской ассоциированной лаборатории (LIA), действовавшей на базе Института геологических наук и Института археологии и этнографии НАН РА. Избранные статьи, основанные на материалах конференции, приняты к печати в 2021г. в форме специального выпуска авторитетного журнала *Quaternary International*.

В 2018г. усилиями Президиума НАН РА, ИГН и МЧС РА была организована международная конференция, посвященная 30-летию Спитакского землетрясения “30 Years After The Spitak Earthquake: Experience And Perspectives”, идея проведения которой принадлежала А.С. Караханяну. В рамках этой конференции памяти А.С. Караханяна была посвящена научная сессия «Seismological and geophysical studies: seismotectonics, paleoseismology, archeoseismology», а рамках которой был представлен 21 научный доклад ученых из разных стран. Во вступительном слове к сессии ученые из Армении, России, Франции и Италии представили научный вклад А.С. Караханяна в проблематику сессии.

В известном научно-популярном журнале *Geology Today*, публикуемом Геологической ассоциацией Лондона и Геологической Ассоциацией Британии, в N 3 за 2020г. армянскими и британскими коллегами опубликована обзорная статья по вулканизму и геологии Армении, посвященная памяти А.С. Караханяна.

Многие неоконченные научные исследования А.С. Караханяна в настоящее время продолжают его армянскими и зарубежными коллегами и учениками. После 2017г. в посмертном соавторстве А.С. Караханяна представлено 10 докладов на международных конференциях, а также опубликованы три статьи в журналах *Geological Quarterly*, *JGR Solid Earth* и *Quaternary Science Reviews*, посвященные активной тектонике Армении, геологическому строению оз. Севан, сейсмической томографии и ее геологической интерпретации и другим смежным дисциплинам.

А.С. Караханян являлся членом INHIGEO – Международной Комиссии по Истории Геологической Науки и членом-корреспондентом Армянской Инженерной Академии. Правительством Армении он был награжден медалью «За заслуги перед Отечеством» 2 степени, памятным грамотами и медалью за участие в изучении Спитакского землетрясения 1988г.

**Отделение химии и наук о Земле НАН РА
Институт Геологических Наук НА РА
Редакционная коллегия Известий НАН РА Науки о Земле**

**ԱՐԿԱՂԻ ՍՏԵՓԱՆԻ ԿԱՐԱԽԱՆՑԱՆ
(ծննդյան 70-ամյակին)**

2021թ. մարտի 19-ին լրացավ ականավորը երկրաբան, ակտիվ տեկտոնիկայի և ժամանակակից երկրադինամիկայի ճանաչված մասնագետ, երկրաբանական գիտությունների դոկտոր Արկաղի Ստեփանի Կարախանյանի 70-ամյակը:

Ա.Ս.Կարախանյանը ծնվել է Երևանում, 1951թ.: ԵՊՀ Երկրաբանական ֆակուլտետում ուսումնառելով ավարտելուց հետո, 1973թ. ընդունվել է աշխատանքի Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտում: 1983թ. Մոսկվայի պետական համալսարանում հաջողությամբ պաշտպանել է թեկնածուական ատենախոսություն՝ «Անատոլիական-Կովկասյան և Իրանի տարածաշրջանների լինեամենտները ըստ հեռակառավարային զոնավորման տվյալների» թեմայով, իսկ 1995թ. ՌԳԱ Երկրի ֆիզիկայի ինստիտուտում՝ դոկտորական ատենախոսությունը «Անատոլիական-Փոքր Կովկասյան օրոգենի ակտիվ խզվածքները և ուժեղ երկրաշարժերը» թեմայով: 1992-1995թթ. աշխատել է Հայաստանի Սեյսմիկ պաշտպանության ազգային ծառայությունում որպես փորձագետ և գլխավոր տնօրենի տեղակալ գիտության գծով: 1995թ.-ից ղեկավարել է ԵԳԻ երկրադինամիկայի և երկրաբանական վտանգների բաժինը: 1998թ. Ա.Կարախանյանը հիմնադրեց «Գեոթիսկ» գիտահետազոտական ընկերությունը, որը ղեկավարեց 1998-2006թթ.: 2006թ. նա ընտրվեց Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտի տնօրեն և ղեկավարեց այն մինչև 2017թ.: Հենց այդ տարիներին առավել վառ արտահայտվեցին նրա գիտական և կազմակերպչական հմտությունները:

Նա առաջիններից մեկն էր, որ 1988թ. Սպիտակի աղետալի երկրաշարժից հետո իրականացրեց մակերևութային պատռվածքի ուսումնասիրություն Գառնու խզվածքի հյուսիսային սեգմենտի և Փամբակ-Սևան-Սյունիքի խզվածքի միակցման զոնայում, ինչը չէր համընկնում այն ժամանակվա երկրաբանների և սեյսմոլոգների մոտ համընդհանուր ճանաչում գտած այն կարծիքի հետ, որ Հարավային Կովկասում անհնար է այդպիսի ուժգնության երկրաշարժերի առաջացումը: Այդ ժամանակից Ա.Ս.Կարախանյանը կարողացավ ակտիվ տեկտոնիկայի և սեյսմիկ ռիսկի և այլ երկրաբանական վտանգների գնահատման բնագավառի հետազոտությունները Հայաստանում դնել նոր, ավելի բարձր մակարդակի վրա:

Ա.Ս.Կարախանյանը համաշխարհային ճանաչում ունեցող գիտնական էր: Նրա գիտական հեղինակությունն այնքան բարձր էր, որ նրան բազմաթիվ անգամներ հրավիրել են հետազոտական աշխատանքների Իրան, Վրաստան, Թուրքիա, Կիպրոս, Սիրիա, Եգիպտոս, Ղազախստան, Ռուսաստան: Իր գիտական գործունեության տարիներ-

րին Ա.Ս.Կարախանյանը ղեկավարել է մի քանի տասնյակ տեղական և միջազգային գիտական ու կիրառական նախագծեր:

Լինելով սկզբունքային, աշխատասեր և բացառիկ պահանջկոտ ինչպես իր, այնպես էլ գործընկերների հանդեպ, նա հատուկ ուշադրություն էր դարձնում Ինստիտուտում նոր ուղղությունների զարգացմանը: Ա.Ս.Կարախանյանի անվան հետ է կապված Հայաստանում ակտիվ տեկտոնիկայի, պալեո- և արխեոսեյսմոլոգիայի գիտական դպրոցների ստեղծումն ու զարգացումը: Լինելով ստեղծագործ, կառուցողական և հաջողակ անհատականություն, նա միաժամանակ մեծ ուշադրություն էր հատկացնում երիտասարդ կադրերի պատրաստմանը: Նրա աշակերտների մի քանի սերունդներ շարունակում են աշխատել և արարել Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտում, որտեղ Ա.Ս.Կարախանյանի շատ գիտակազմակերպչական ձեռնարկումներ ստացել են իրենց հետագա զարգացումը: Այսպես, միջազգային համագործակցության շրջանակներում հաջողությամբ ընդլայնվում և մոդեռնիզացվում է 2012թ. նրա ղեկավարությամբ ԵԳԻ-ում ստեղծված սեյսմիկ և GPS դիտարկումների ցանցը, շարունակվում են ակտիվ խզվածքների և ժամանակակից երկրադինամիկայի, երկրաբանական վտանգների ուսումնասիրությունները:

Արկադի Կարախանյանը մեծ ներդրում ունի Հայաստանում երկրաբանական գիտության զարգացման և բարձր որակավորմամբ գիտական կադրերի պատրաստման գործում:

Ա.Ս.Կարախանյանը հեղինակ է մի քանի մենագրությունների, տասնյակ գիտական հոդվածների, որոնք հրատարակվել են ինչպես տեղական, այնպես էլ միջազգային հեղինակավոր գիտական հանդեսներում, մասնավորապես՝ *Tectonophysics*, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, *Bulletin of the Geological Society of America - Special Papers*, *Annals of Geophysics*, *Geodinamica Acta*, *Journal of Quaternary Science*, *Paleorient*, *Journal of Geological Science of Japan*, *Journal of Seismology*: Հատուկ արժե նշել նրա վերջին երկու հոդվածները, որոնք ընդունվել էին հրատարակման 2016թ. վերջին և հրատարակվել են 2017թ. *Bulletin of the Geological Society of America - Special Papers*, որտեղ Ա.Ս.Կարախանյանը և համահեղինակները ընդհանրացրել են Հայաստանի և տարածաշրջանի սեյսմոտեկտոնիկայի, ինչպես նաև Հայաստանում ամենամեծ ձգվածությամբ Փամբակ-Սևան-Սյունիքի ակտիվ խզվածքի արխեոսեյսմոլոգիայի վերաբերյալ նոր տվյալները:

Ա.Ս.Կարախանյանը հաջողությամբ ղեկավարում էր բազմաթիվ գիտական և գիտակիրառական նախագծեր, որոնք Հայաստանի կայուն զարգացման համար ունեցել են զգալի պրակտիկ արդյունքներ և մեծ նշանակություն: Այդ առումով հարկ է նախ և առաջ նշել հետևյալները.

- Երևանի, Գյումրու, Դիլիջանի, Ղափանի և այլ քաղաքների սեյսմիկ ռիսկի գնահատմանն ուղղված հետազոտություններ, որոնք իրա-

կանացվել են ՄԱԿ-ի Զարգացման ծրագրի նախագծերի շրջանակներում:

- Հայաստանի սեյսմիկ շրջանացման նոր քարտեզի կազմման (Համաշխարհային Բանկի նախագծով) ղեկավարում՝ Պաշտոնապետ հաստատված Հայաստանի կառավարության կողմից, որի հիմքում ընկած է Հայաստանի տարածքի սեյսմոտեկտոնական մոդելը, որն էլ ստեղծվել է Ա.Ս.Կարախանյանի և նրա գործընկերների կողմից կատարված բազմամյա հետազոտությունների արդյունքների հիման վրա,

- Հայկական ատոմակայանի տարածքի սեյսմիկ և հրաբխային վտանգների գնահատման մասշտաբային նախագիծը 2009-2011թթ., երբ քննարկվում էր Հայաստանում ԱԷԿ-ի նոր բլոկի կառուցման հարցը: Աշխատանքը կատարվեց МАГАТЭ-ի չափորոշիչներին համապատասխան և հետազայում ընդունվեց միջազգային փորձագետների կողմից բարձր գնահատականով:

Ա.Ս.Կարախանյանը ղեկավարել է նաև Հայաստանում երկրաջերմային էներգիայի ներուժի հետազոտման գիտակիրառական երկրաբանա-երկրաֆիզիկական նախագիծը (2009-2012), ապա, 2015-2016թթ., Համաշխարհային Բանկի ռեսուրսների վերարտադրման նախագծով Հայաստանի հարավ-արևելքում, Կարկառի երկրաջերմային դաշտի, պաշարների հետազոտման նպատակով հորատման աշխատանքների նախապատրաստման և իրականացման հարցերով խորհրդականն էր:

Ա.Ս.Կարախանյանի գիտական հետաքրքրությունների լայնությունն ու երուղիցիան իրենց արտահայտությունը գտան հետազոտություններում, որոնք նրա կողմից կազմակերպվեցին գիտական տարբեր ուղղությունների՝ երկրաբանության, հնագիտության, բնապահպանության ու պատմության հատման կետերում: Հայրենական և արտասահմանյան հնագետների հետ համագործակցության արդյունքում Հայաստանի երկրաբանները մեծ ներդրում ունեցան մեր երկրի հնագիտական հուշարձանների ոչ միայն հետազոտությունների, այլ նաև նրանց հայտնաբերման գործում:

Ցավոք, Ա.Ս.Կարախանյանի կյանքն անսպասելիորեն ընդհատվեց 2017թ. նոյեմբերի 13-ին, կյանքի 67-րդ տարում, ստեղծագործական ուժերի ծաղկման շրջանում: Անավարտ մնացին մի շարք նախագծեր, հրատարակումներ ու գիտական պլաններ:

Ա.Ս.Կարախանյանի վաղաժամ մահից հետո նրա գործընկերների կողմից շատ բան արվեց՝ հավերժացնելու համար նրա հիշատակը: Ֆրանսիայի Լիոն քաղաքում 2018թ. նոյեմբերի 6-7 կայացավ նրա հիշատակին նվիրված միջազգային գիտական կոնֆերանս՝ “Ancient Armenia at the crossroads, in honor of Arkady Karakhanyan”: Կոնֆերանսը կազմակերպվել էր ՀՀ ԳԱԱ ԵԳԻ և CNRS Archéorient, Ֆրանսիա, համատեղ ուժերով և ընդհանրացնում ու ամփոփում էր ՀՀ ԳԱԱ Երկրաբանական գիտությունների և Հնագիտության և ազգագրության ինստիտուտների բազայի հիման վրա գործող հայ-ֆրան-

սիական համատեղ լաբորատորիայի (LIA) տասնամյա գործունեությունը: Կոնֆերանսի նյութերից ընտրված մի քանի հոդվածներ ընդունվել են տպագրության 2021թ.-ին Quaternary International հեղինակավոր հանդեսի հատուկ թողարման ձևով:

2018թ. ՀՀ ԳԱԱ Նախագահության, ԵԳԻ և ԱԻՆ ուժերով կազմակերպվեց միջազգային գիտաժողով՝ նվիրված Սպիտակի երկրաշարժի 30-ամյակին՝ "30 Years After The Spitak Earthquake: Experience And Perspectives", որի կազմակերպման միտքը Ա.Ս.Կարախանյանին էր: Այդ կոնֆերանսի շրջանակներում կայացավ Ա.Ս.Կարախանյանի հիշատակին նվիրված գիտական նստաշրջան "Seismological and geophysical studies: seismotectonics, paleoseismology, archeoseismology", որտեղ ներկայացվեցին աշխարհի տարբեր երկրների գիտնականների 21 գիտական զեկուցումներ: Նստաշրջանի բացման խոսքում Հայաստանի, Ռուսաստանի, Ֆրանսիայի և Իտալիայի գիտնականները ներկայացրեցին Ա.Ս.Կարախանյանի ներդրումը նստաշրջանում քննարկվող նյութերում:

Լոնդոնի Երկրաբանական ասոցիացիայի և Բրիտանական Երկրաբանական ասոցիացիայի կողմից հրատարակվող Geology Today հայտնի գիտահանրամատչելի հանդեսի 2020թ. 3-րդ համարում հայ և բրիտանացի գործընկերների կողմից հրատարակվել է Հայաստանի հրաբխականության և երկրաբանության մասին ծավալուն հոդված՝ նվիրված Ա.Ս.Կարախանյանի հիշատակին:

Ա.Ս.Կարախանյանի չավարտված շատ գիտական հետազոտություններ այժմ շարունակվում են նրա հայ և արտասահմանյան գործընկերների և աշակերտների կողմից: 2017թ.-ից հետո, Ա.Ս.Կարախանյանի հետմահու համահեղինակությամբ, միջազգային գիտաժողովներում ներկայացվել է 10 զեկուցում, հրատարակվել երեք հոդված Geological Quarterly, JGR Solid Earth և Quaternary Science Reviews հանդեսներում, նվիրված Հայաստանի ակտիվ տեկտոնիկային, Սևանա լճի երկրաբանական կառուցվածքին, սելամիկ տոմոգրաֆիայի և նրա երկրաբանական մեկնաբանման հարցերին և այլ միջանկյալ դիսցիպլիններին:

Ա.Ս.Կարախանյանը INHIGEO՝ Երկրաբանական գիտության պատմության Միջազգային հանձնաժողովի անդամ էր, Հայաստանի Ինժեներային ակադեմիայի թղթակից-անդամ: Հայաստանի Կառավարության կողմից նա պարգևատրվել է «Հայրենիքին մատուցած ծառայությունների համար» 2-րդ աստճանի մեդալով, 1988թ. Սպիտակի երկրաշարժի հետազոտմանը մասնակցելու համար մեդալով և պատվոգրերով:

ՀՀ ԳԱԱ Քիմիայի և Երկրի մասին գիտությունների բաժանմունք
ՀՀ ԳԱԱ Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտ
ՀՀ ԳԱԱ Երկրի մասին գիտություններ տեղեկագրի խմբագրական կոլեգիա