

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



2/2020

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, Դ.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
(սլատախիանատու քարտուղար), Ս.Ն.ՆԱԶԱՐԵՏՅԱՆ, Ռ.Տ.ՋՐԲԱՇՅԱՆ,
Ս.Ա.ՓԱԼԱՆՅԱՆ (Ռուսաստան)**

Главный редактор
Р.Л.МЕЛКОНЯН

Редакционная коллегия
**Ա.Վ.ԱՎԱԿՅԱՆ (зам.глав.ред.), Ա.Օ.ԱԳԻՆՅԱՆ, Ա.Ա.ԱՐԱԿԵԼՅԱՆ, Ա.Ր.ԲԱԳԴԱՏԱՐՅԱՆ,
Դ.Ա.ԳԱԲՐԻԵԼՅԱՆՑ, Կ.Լ.ԳԱԼՈՅԱՆ, Ս.Ա.ԳՅՈՒԼՆԱԶԱՐՅԱՆ, Դ.ԴԱՆԵԼԻԱՆ (Франция),
Ր.Տ.ԺՐԲԱՇՅԱՆ, Ժ.Կ. ԿԱՐԱՔԵՏՅԱՆ, Խ.Բ.ՄԵԼԻԿՍԵՏՅԱՆ, Ր.Տ.ՄՈՎՍԵՍՅԱՆ
(ответ.секретарь), Տ.Ն.ՆԱԶԱՐԵՏՅԱՆ, Լ.Յ.ՕԳԱՆԵՍՅԱՆ, Տ.Մ.ՕԳԱՆԵՍՅԱՆ,
Տ.Ա.ՓԱԼԱՆԺՅԱՆ (Россия), Յ.Է.ԽԱՉԻՅԱՆ**

Editor in Chief
R.L.MELKONYAN

Editorial Board
**Ա.Հ.ԱԳԻՆՅԱՆ, Ա.Վ.ԱՎԱԳՅԱՆ (Deputy Editor in Chief), Ա.Ա.ԱՐԱԿԵԼՅԱՆ,
Հ.Ր.ԲԱԳԴԱՏԱՐՅԱՆ, Դ.ԴԱՆԵԼԻԱՆ (France), Գ.Ա.ԳԱԲՐԵԼՅԱՆՑ, Դ.Լ.ԳԱԼՈՅԱՆ,
Տ.Հ.Ա.ԳՅՈՒԼՆԱԶԱՐՅԱՆ, Լ.Հ.ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ, Տ.Մ.ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ, Ր.Տ.ԺՐԲԱՇՅԱՆ,
Ժ.Կ. ԿԱՐԱՔԵՏՅԱՆ, Է.Կ.ԽԱՉԻՅԱՆ, Խ.Բ.ՄԵԼԻԿՍԵՏՅԱՆ, Ր.Տ.ՄՈՎՍԵՍՅԱՆ
(Executive Secretary), Տ.Ն.ՆԱԶԱՐԵՏՅԱՆ, Տ.Ա.ՓԱԼԱՆՅԱՆ (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, 2020

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՏԵԿՏՈՆԻԿԱ

- Բաղդասարյան Հ.Ռ., Առաքելյան Դ.Գ.** Ակտիվ տեղաշարժերի կինեմատիկայի և ուժեղ երկրաշարժերի հետքերի ուսումնասիրումը Փամբակ-Սևան-Սյունիք խզվածքային գոտու հարավային սեգմենտում 3

ՄԱԳՄԱՅԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- Գալոյան Ղ.Լ., Զունգ Ս.-Լ., Մեքոնյան Ռ.Լ., Լիի Յ.-Հ., Աթայան Լ.Ս., Դուկասյան Ռ.Խ., Խորեյան Ռ.Հ., Գրիգորյան Ա.Գ., Սահակյան Ս.Ս., Ավագյան Ն.Ա.** ՈՒՇ ՆԵՈՊՐՈՏԵՐՈՑՈՅԱՆ-ՎԱՂ ՔԵՄԲՐԻ, ՈՒՇ ՊԱԼԵՈՑՈՅԱՆ և ՈՒՇ ՅՈՒՐՄԱՅԻ գրանիտոիդային մագմատիզմը Գոնդվանայի հյուսիսային ակտիվ ծայրամասում՝ Փոքր Կովկասի Ծաղկունյաց անտիկլինորիում (Կենտրոնական-Հյուսիսային Հայաստան) 16

ԵՐԿՐԱՑԻԶՄ

- Մաթևոսյան Ա.Կ.** Եռաբաղադրիչ համակարգերի տվյալների վիզուալացման մասին 44

ԷԿՈԼՈԳԻԱ

- Հովսեփյան Ա.** Արբանյակային լուսանկարների կիրառման հնարավորությունները Սևանա լճի էկոլոգիական հիմնախնդիրների ուսումնասիրման գործում 57

- Տեփանոսյան Գ. Հ., Հովսեփյան Ա. Ա., Մուրադյան Վ. Ս., Ասմարյան Շ. Գ.** Երևան քաղաքի հողածածկի տարածաժամանակային փոփոխության ուսումնասիրություն արբանյակային հեռազննման տվյալների կիրառմամբ 72

ՀԻՇԱՐԺԱՆ ՏԱՐԵԹՎԵՐ

- Էդուարդ Աբելի Խաչատուրյան** (ծննդյան 100-ամյակին) 84
- Գրիգորյան Գ.Ռ., Պողոսյան Ն.Յ., Դավթյան Ռ.Ս.** Հայաստանի երկրաբանները Հայրենական Մեծ պատերազմի տարիներին (Հաղթանակի 75-ամյակին) 87

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕКТОНИКА

- Багдасарян А.Р., Аракелян Д.Г.** Изучение кинематики активных подвижек и следов сильных землетрясений в зоне южного сегмента Памбак-Севан-Сюникского разлома 3

МАГМАТИЗМ

- Галоян К.Л., Чунг С.-Л., Мелконян Р.Л., Ли Ю.Х., Атаян Л.С., Гукасян Р.Х., Хоренян Р.А., Григорян А.Г., Саакян С.С., Авагян Н.А.** ПОЗДНЕ-НЕОПРОТЕРОЗОЙСКИЙ-РАННЕКЕМБРИЙСКИЙ, ПОЗДНЕПАЛЕОЗОЙСКИЙ И ПОЗДНЕЮРСКИЙ гранитоидный магматизм северной активной

окраины Гондваны Цахкуняцкого антиклинория Малого Кавказа (Центральная-Северная Армения)	16
ГЕОФИЗИКА	
Матевосян А.К. К вопросу о визуализации данных трехкомпонентных систем ..	44
ЭКОЛОГИЯ	
Овсепян А. Возможности применения спутниковых снимков в исследовании экологических проблем озера Севан	57
Тепаносян Г., Овсепян А., Мурадян В., Асмарян Ш. Исследование пространственно-временного изменения земельного покрова города Еревана с применением данных спутникового дистанционного зондирования	72
ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ	
Эдуард Абелович Хачатурян (к 100-летию со дня рождения)	84
Григорян Г.Р., Погосян Н.Ю., Давтян Р.С. Геологи Армении в годы Великой Отечественной войны (к 75-летию Победы)	87

TABLE OF CONTENT

TEKTONICS	
Baghdasaryan H. R., Arakelyan D. G. Study of the kinematics of active dislocations and signs of strong earthquakes on the southern segment of the Pambak-sevan-syunik fault zone	3
MAGMATISM	
Galoyan Gh.L., Chung S.-L., Melkonyan R.L., Lee Y.-H., Atayan L.S., Ghukasyan R.Kh., Khorenyan R.H., Grigoryan A.G., Sahakyan S.S., Avagyan N.A. LATE NEOPROTEROZOIC-EARLY CAMBRIAN, LATE PALEOZOIC AND LATE JURASSIC granitoid magmatism on the northern active margin of Gondwana, Tsaghkunyats anticlinorium of Lesser Caucasus (Central-Northern Armenia)	16
GEOPHYSICS	
Matevosyan A.K. On visualization of three-component systems data	44
ECOLOGY	
Hovsepyan A. The possibilities of using the satellite imagery when studying ecological issues of lake Sevan	57
Tepanosyan G., Hovsepyan A., Muradyan V., Asmaryan Sh. Study spatio-temporal changes in Yerevan's land cover using satellite remote sensing data ..	72
MEMORABLE DATES	
Eduard Abel Khachaturyan (to the 100 th anniversary)	84
Grigorian G.R., Poghosyan N.Yu., Davtyan R.S. Geologists of Armenia during the Great World War (on the 75th anniversary of the Victory)	87

ТЕКТОНИКА

ИЗУЧЕНИЕ КИНЕМАТИКИ АКТИВНЫХ НОДБИЖЕК И СЛЕДОВ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЗОНЕ ЮЖНОГО СЕГМЕНТА ПАМБАК-СЕБАН-СЮНИКСКОГО РАЗЛОМА

Багдасарян А.Р., Аракелян Д.Г.

*Институт геологических наук НАН РА,
0019, г. Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24а
e-mail: haykbag@gmail.com; armgeology@gmail.com
Поступила в редакцию 12.03.2020г..*

Изучение и картирование активных структур в южной части 9-го сегмента Памбак-Севан-Сюникского разлома (PSSF-9) основано на совместном использовании дистанционных и наземных исследований. Интерпретация данных космических и цветных аэро - ортофотоснимков высокого разрешения, а также детальные полевые исследования в зоне разлома позволили опознать и выделить локальные разрывы и деформации, а также оценить кинематику и амплитуду смещений вдоль активных структур. Для уточнения и подтверждения указанных характеристик были изучены проявления сильных землетрясений на поверхности (сайт-эффекты), которые произошли в исторический и инструментальный периоды времени в зоне исследуемого сегмента разлома и прилегающих территорий.

Ключевые слова: pull apart basin, Памбак-Севан-Сюникский разлом, сеймотектоника, землетрясение, активная структура, амплитуда смещений, деформация сдвига, дистанционное зондирование, ландшафтные аномалии.

При оценке сейсмической опасности и риска для инженерных сооружений - зданий, плотин, мостов и др. конструкций, определение активного разлома связано с его активностью за время голоцена, то есть в течение последних 10,000 лет (Hart E. et al., 1980), а по последним данным 11,700±99 лет (International Commission, 2020; Walker M. et al., 2008).

Исследования в южной части 9-го сегмента Памбак-Севан-Сюникского разлома проводились с целью выявления и подтверждения факта современных деформаций земной поверхности в виде активных подвижек и деструкции горных пород во время землетрясений, а также оценки данного сегмента разлома, как источника сейсмической опасности и других геологических бедствий на данной территории (сейсмогенные оползни, обвалы, явления разжижения и проседания грунтов и т.д.).

До последнего времени наиболее полно была изучена лишь северная часть 9-го сегмента PSSF (участок «Каркар»), где были проведены весьма

подробные и значительные по объему сейсмотектонические, геофизические и палеосейсмологические исследования с картированием активных структур и выраженных на поверхности сайт-эффектов (Չևոնիսյ, 2009; Interpretation, 2012; Karakhanyan et al., 2016, Ritze et al., 2016; White et al., 2015). Центральная же и южная части 9-го сегмента PSSF до настоящего времени оставались практически неизученными.



Рис.1. Памбак-Севан-Сюникский разлом (PSSF-9): а - пространственная позиция исследованных участков разлома (пунктирной линией показано простираение южного окончания PSSF-9 согласно официально принятой версии карты активных разломов территории Армении); б и с - космические снимки участков «Каркар» и «Такнвац»; д - аэро-ортофотоснимок разлома PSSF-9 на участке «Арджис».

Новые данные, полученные в ходе исследований южной части 9-го сегмента Памбак-Севан-Сюникского разлома, позволили впервые оценить кинематику подвижек и активность, проявляемую в голоцен-историческое время, пересмотреть направление простирания и геометрию разлома, а также уточнить общую длину и максимальную ширину разломной зоны.

По данным прежних многочисленных исследований, а также согласно официально принятой версии карты активных разломов территории Армении (International Consortium, 2018), на широте села Лцен ($39^{\circ}27'6.65''N$) простирание PSSF-9 резко менялось на южное, как это показано пунктирной линией на рисунке 1а, в то время, как по результатам новых исследований зона разлома, не меняя направления, продолжается далее до села Арджиси только здесь, изменив простирание на южное, достигает окрестностей села Татев. По новым уточненным данным общая длина 9-го сегмента PSSF составляет 51 км, из коих 11 км приходится на длину впервые изученного отрезка разломной зоны при максимальной ее ширине 425 м.

В пределах 9-го сегмента Памбак-Севан-Сюникского разлома, выделяются 3 участка - «Каркар», «Такнвац» и «Арджис», где зона выражена наиболее отчетливо (рис. 1а). Следует отметить, что указанные участки неравнозначны с точки зрения сейсмотектонической, сейсмологической и др. геологической информации, касающейся особенностей кинематики и доказательств сейсмической активности разлома в голоценовое время. В то время, как на двух участках - «Каркар» и «Арджис» объем информации достаточен для полноценной сейсмотектонической оценки параметров PSSF-9, на участке «Такнвац» ($X=46^{\circ}0.090'E$, $Y=39^{\circ}40.487'N$) он весьма ограничен и позволяет лишь констатировать выход сейсмогенного разрыва на поверхность во время сильного, возможно, исторического землетрясения. Фрагмент разлома ССВ простирания, длиной около 2 км и максимальной шириной порядка 30 м, отчетливо проявлен на космических снимках в виде V-образного разрыва поверхности молодых флювиогляциальных отложений, перекрывающих четвертичные лавы Сюникского вулканического нагорья (рис. 1с). Точная дата данного сейсмического события с выходом плоскости разрыва на поверхность неизвестна и может быть установлена лишь при детальном исследовании разреза грунтов поперек линии разлома (trenching) при наличии в разрезе коллювиальных клинов погребенной палеопочвы.

Изученный участок разломной зоны «Арджис» находится в левобережье р. Воротан (рис. 1а, д) и охватывает сравнительно невысокий горный хребет, который тянется по периферии Сюникского вулканического нагорья на расстояние около 7 км, ограничивая его с юга. Хребет сложен в основном породами вулканогенно-осадочной толщи позднего мела, представленными известняками, песчаниками, конгломератами, туфобрекчиями и туфонесчаниками.

Зона главного разлома состоит из нескольких отдельных ветвей, образующих систему эшелонированных разрывов с правым подставлением. При интерпретации данных дистанционного зондирования отчетливо вы-

деляются оперяющие разломы, которые хорошо проявлены в рельефе в виде тектонических уступов и смещений отдельных форм рельефа. На отрезках, где разрывы не находят прямого отражения в рельефе, продолжение простираия разрывов, тем не менее, удастся выделить по таким специфическим признакам как линейно вытянутые зоны повышенной трещиноватости и обводненности, а также других ландшафтных аномалий.

Дистанционное зондирование и картирование разрывов непосредственно на местности показывает, что геометрия простираия отдельных структурных элементов образует характерный ромбовидный рисунок pull apart basin. При этом, основные смещения по плоскостям разрывов имеют праводвиговую горизонтальную компоненту в сочетании с серией субпараллельных ступенчатых сбросов по вертикали. Подобная кинематика подвижек особенно хорошо проявлена в центральной части разломной зоны. Обращает на себя внимание резко аномальное залегание пластов осадочной толщи известняков непосредственно в зоне разлома, где фиксируется их субвертикальное падение $75^{\circ}-80^{\circ}$ ЮЗ, в результате чего пласты, подвергшиеся интенсивным деформациям, стоят "на головах" в то время, как непосредственно по внешней границе с разломной зоной отмечается спокойное залегание тех же пород с пологим падением, не превышающим $25^{\circ}-30^{\circ}$ СЗВ (рис.2А).

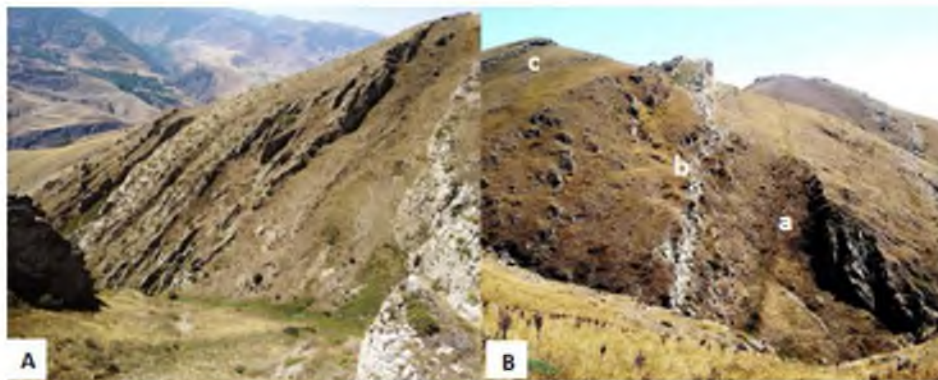


Рис.2. Вертикально падающие пласты меловых известняков в зоне разлома PSSF-9(А); Крупный грабен (В): а- линия предполагаемого выхода сейсмогенного разрыва на поверхность, б-плоскость вертикального сброса, с- пологое залегание иластов вне зоны разлома (вид с запада).

Модель pull apart basin предполагает наличие условий растяжения, при котором в пределах ромбовидной структуры развивается система сбросов, формирующих грабенообразные тропы. В центральной части исследуемого участка PSSF-9 выделяются два крупных, параллельно ориентированных грабена, образованных системой антитетических (т.е. противоположных направлению плоскости разлома) сбросов. В пределах северного грабена по данным дистанционного зондирования и полевым наблюдениям выделяется линия предполагаемого выхода разрыва на поверхность,

произошедшего, вероятно, во время недавнего или времени землетрясения (рис.2В-а). При полевых исследованиях выяснилось, что вдоль линии разрыва сравнительно недавно была проложена грунтовая дорога, которая в какой-то степени маскирует его, однако при этом разрыв отчетливо интерпретируется на архивном аэрофотоснимке 1949 года, что свидетельствует о сейсмогенной природе данной структуры. Ширина южного грабена около 150м, северного 70м, где по визуальной и полевой оценке максимальная вертикальная амплитуда смещения достигает 30м (рис.2В-б). Существующие в pull apart basin условия интенсивного растяжения, способствовали формированию линейно вытянутой вдоль разлома деформации поверхности в виде системы чередующихся тектонических депрессий.

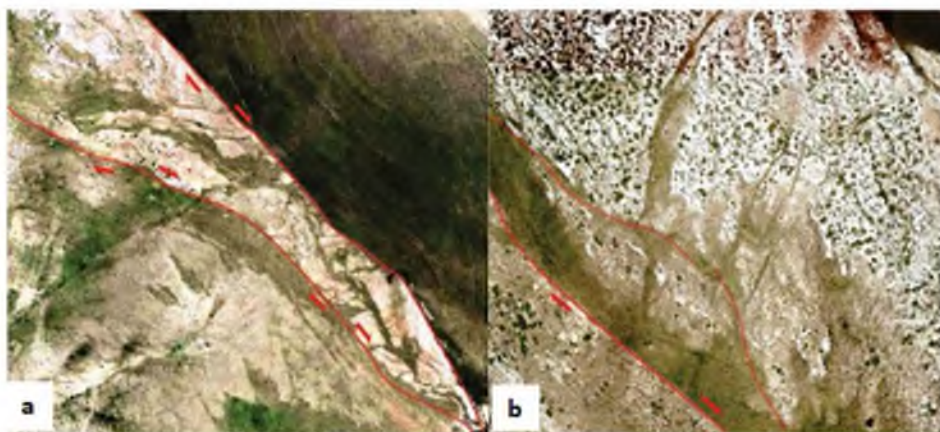


Рис.3. Сколы Риделя - дугообразные полосы на аэроснимке, сформированные в результате деформаций между двумя сходящимися ветвями правосдвиговых разломов (а); поперечные трещины растяжения в виде темных ветвящихся полос, ориентированных вкrest простирания зоны основного разлома (б).

Неоднократные подвижки по двум расходящимся под острым углом ветвям правосдвиговых разломов привели к интенсивным деформациям межразломного пространства с образованием здесь различных и простиранию трещин. Указанные структуры растяжения представлены двумя типами трещин. К первому типу относится система левоуклинистого ряда мелких структур - т.н. "сколов Риделя", ориентированных в СЗ направлении под острым углом к основному сдвигу. Указанные деформации отчетливо проявлены на аэрофотоснимках высокой резолуции в виде системы взаимоподставляющих дугообразных узких полос, различающихся по тону ввиду их повышенной обводненности (рис.3а). Такие структуры растяжения проявлены на двух отрезках разломной зоны – в ее северо-западном и юго-восточном окончаниях, т.е. в точках схождения ветвей главного разлома в вершинах ромбовидной структуры pull apart basin. В обоих случаях ориентированные сколы Риделя, сформированные в условиях горизонтального сдвига, имеют левоуклинистый тренд подставле-

ия, что согласно сдвиговой модели свидетельствует о правосторонних смещениях по отдельным ветвям главного разлома.



Рис.4. Феномен "разбитого" хребта. Обрушение произошло в результате сильного сейсмического удара: а- древний фрагмент обрушения, б- современный обвал (3D модель хребта с аппликацией аэрофотоснимков высокого разрешения).

Ко второму типу относятся мелкие раскрытые трещины растяжения с поперечным к основному сдвигу ССВ простиранием (рис.4б). Указанная система трещин развита в центральной части pull apart basin, т.е. в области наиболее интенсивных растягивающих усилий с образованием крупных грабей-проседаний. Следует отметить, что сочетание сдвигов с опирающимися структурами растяжений и проседаний весьма характерно при сейсмических нарушениях, возникающих в зонах разломов при сильных землетрясениях.

Голоценовая активность PSSF-9, проявляемая в южном его окончании, и способность генерировать сильные землетрясения (сарабле) подтверждается рядом фактов, установленных в процессе исследований.

О значительных по амплитуде тектонических подвижках в зоне разлома и крупных сейсмических событиях, произошедших в данном ареале, свидетельствует феномен т.н. "разбитых хребтов", наблюдаемый на территориях с высокой сейсмичностью. Не менее 5 случаев "разбитого" хребта насчитывается в пределах изученного участка разломной зоны PSSF-9, которые охватывают водораздельную часть массива, сложенного меловыми известняками. Система, состоящая из трех участков разбитого хребта, структурно сопряжена с вогнутыми депрессиями склонов. Скаль-

ные иороды, слагающие хребет, несут на себе следы древних сейсмических событий. Свидетельством землетрясений, произошедших в недалеком прошлом, служат разбитые трещинами, раздробленные и отчлененные от оснoвного массива отдельные блоки и глыбы известняков, что указывает на типичный сайт-эффект в условиях сравнительно недавнего ио времени сейсмического события.

На рис.4 показан разбитый фрагмент хребта, сложенный массивными известняками, который обрушился в результате сильного и, вероятно, близвертикального сейсмического удара, образовав крупный просевший блок в южном окончании разлома. Об интенсивном деформировании состояния массива пород, слагающих блок, свидетельствует система трещин растяжения, структуры сбросов и сдвигов, проявленные на его поверхности.

В зоне обрушения ио плоскостям напластования известняков местами фиксируется тектоническая штриховка, свидетельствующая о сбросо-сдвиговой кинематике подвижек. В условиях сдвиговых деформаций ио главному разлому наблюдается сегментация с разбивкой на отдельные структурные элементы, веерообразно расходящиеся к югу. Согласно общепринятой в сейсмотектонике модели сдвиговых смещений, плоскости отдельных сегментов сходятся и соединяются на глубине, образуя т.н. "цветковую структуру". На рис.5 показан поперечный разрез зоны PSSF-9с интерпретацией геометрии разломов на глубине и кинематики подвижек по ним согласно упомянутой модели.

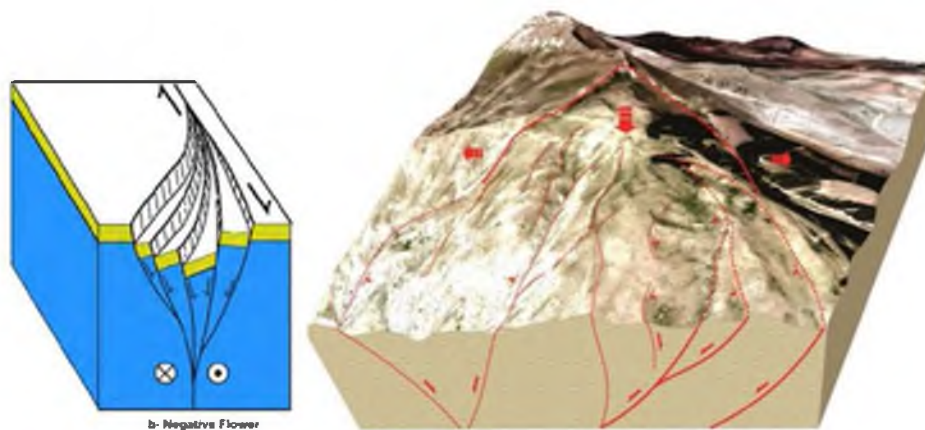


Рис.5. Интерпретация глубинной геометрии и кинематика разломов согласно 3Dмодели "цветковой структуры" в зоне PSSF-9 (поперечный разрез разломной зоны на участке разбитого хребта).

Анализ углов падения отдельных пачек пород в деформированной среде, определение направлений и величин смещений по плоскостям разрывов свидетельствуют о существовании глубинных растягивающих усилий, которые привели к значительной дезинтеграции пород просевшего

блока. О напряженно-деформированном состоянии и аномально повышенной трещиноватости пород, слагающих периферию блока, свидетельствуют камнепады и сравнительно свежие вывалы из скалпов древних обрушений разбитого хребта (рис.4б).

При переходе в правобережье р. Воротан зона PSSF-9 сужается, трансформируясь в линейную структуру шириной около 100м, которая прослеживается на расстояние около 2-3км к югу и заканчивается недалеко от с. Татев. С зоной главного разлома с востока под острым углом сочленяется оперяющая ветвь разлома. Во время полевых исследований в границах разломной зоны были выявлены интенсивно перемятые, расщепленные и раздробленные до состояния щебня плитчатые известняки и песчаники верхнемелового осадочного комплекса. На космических снимках в обоих флангах разломной зоны наблюдается хорошо выраженная приразломная складчатость, выделяемая по характерным изгибам пластов. В частности, выявляется сильно сжатая килеобразная синклиналиальная складка, примыкающая к западному флангу разлома. Углы падения плоскостей напластований в восточном крыле складки колеблются в пределах 60° - 70° , а азимуты простирания в интервале 240° - 250° ЮЗ. Вдоль контактной линии с разломом, формирующие складку пласты резко переходят в вертикальное залегание, а в зоне разлома наблюдается активное их смятие, сопровождаемое интенсивным дроблением всей массы слагающих пород (рис.6).

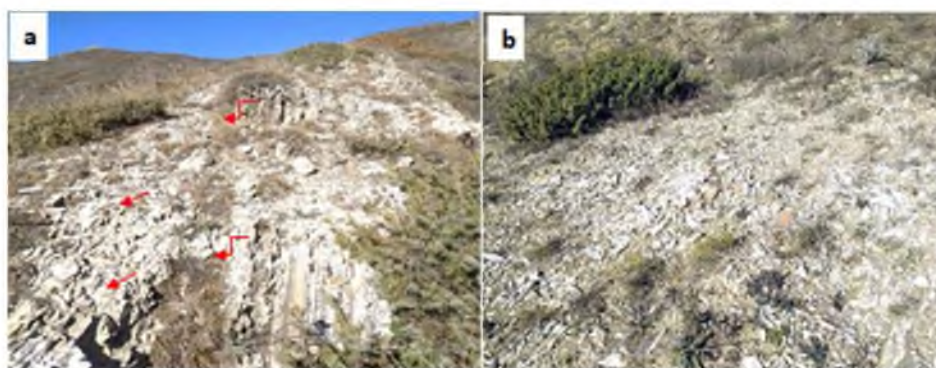


Рис.6. Резкий переход плоскостей напластований в вертикальное залегание по контакту приразломной складки с главным разломом (а). Раздробленные до состояния щебня известняки зоны разлома (б).

Оценка кинематики активных подвижек – сдвигов, сбросов и растяжений, произошедших в голоцене, основана на данных анализа новейших деформаций поверхности и изменений дренажной сети. По данным дистанционного зондирования некоторые притоки р. Воротан, пересекающие разломную зону PSSF-9, подвержены различным деформациям и изгибам, свидетельствующим об активных смещениях как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении.

На исследуемой территории в результате вертикальных подвижек по плоскостям сбросов наблюдаются различные типы сейсмотамбиро-

вания и разрывов (отсечения) русел мелких водотоков. Если плоскость сброса ориентирована против уклона склона, то при пересечении им водотока наблюдается дамбирование русла и накопление осадков, выносимых рекой. В последствии русло прорезывает возникшую дамбу, изменив свою конфигурацию (рис.7а). Хорошим примером является сейсmodамбирование системы левых притоков р. Воротан при пересечении ими активной ветви PSSF-9. Здесь на участках дамбирования фиксируются следы старых речных наносов, образующих промежуточный конус выноса (fan), а также эрозионные врезы, участки смещения русел и прорыва дамбы (рис.7b,c).



Рис.7. Сейсmodамбирование и смещения системы левых притоков р. Воротан при пересечении ими активной ветви PSSF-9: 3D модель (а), ортофотоснимок (b), иравосдвиговое смещение русла и эрозионный размыв сейсmodамбы (с) (июлевой снимок).

В другом случае, когда падение плоскости разлома ориентировано вдоль уклона склона, наблюдается отсечение верховьев реки от основного русла с образованием "висячих" водотоков или т.н. "мертвых долин". Сформированные при этом системы вертикальных карнизов расчлениют русло водотока на отдельные фрагменты, расположенные на разных гипсометрических уровнях. В качестве наглядного примера могут служить отсеченные от верховьев и деформированные русла левых притоков

р. Воротан при пересечении ими тектонических скарпов, образовавшихся в результате серии субвертикальных синтетических сбросов СЗ простирания (рис.8).

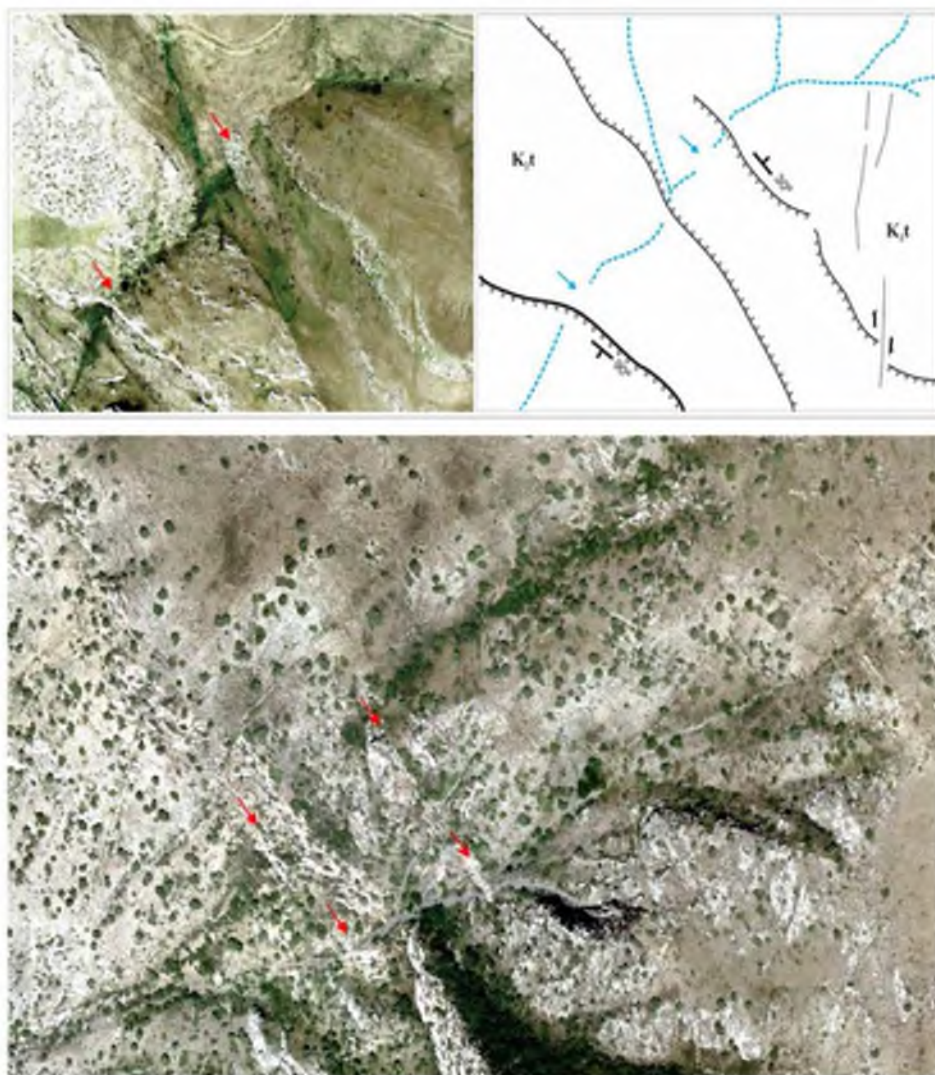


Рис.8. Отсеченные от верховьев и деформированные поперечными тектоническими уступами русла водотоков в зоне активного разлома PSSF-9 ("мертвые долины").

В центральной части главного разлома выделяется система аномальной дренажной сети, выраженная на аэрофотоснимках в виде темных, линейно изогнутых полос благодаря их повышенной обводненности и "просвечиванию" из-под современного почвенного слоя. Анализ топографии участка местности показывает абсолютное несоответствие простираний древних водотоков уклонам рельефа и рисунку современной дренажной сети. Подобная перестройка палеогидросети очевидным образом

связана с изменениями рельефа в голоцене в результате значительных тектонических деформаций в зоне разлома. По данным дистанционного зондирования и крупномасштабных топографических карт в центральной части зоны разлома наблюдается прогибание поверхности рельефа (депрессия), непосредственно граничащая с тектонически приподнятым участком (воздымание). Совместная интерпретация дистанционных изображений и карты уклонов рельефа позволяет реконструировать геометрию древней дренажной сети при переходе из области депрессии в область межрусловых поднятий с реликтовыми следами водотоков на них. При этом фиксируется правостороннее смещение нагорных рек от первоначальной позиции на расстояние примерно 40 м вдоль плоскости тектогенного разрыва.

Свидетельством археосейсмичности в исследованном сегменте PSSF-9 служит построенная в древности стена, обнаруженная в области "разбитого" хребта в южной части разломной зоны. Возраст стены, выложенной на поверхности обвалившегося в результате сейсмического удара хребта, может служить в качестве пост-даты возможно исторического землетрясения. При обследовании остатков стены, выстроенной из обвалившихся при землетрясении каменных глыб, обнаруживаются поперечные трещины, пересекающие постройку в нескольких местах. Трещины с шириной раскрытия до 0,5 м и более местами завалены крупными глыбами, вероятно выпавшими уже из самой стены во время последующих сейсмических сотрясений, что свидетельствует о более позднем по времени сейсмическом событии. Результаты более детальных архео- и макросейсмических исследований, планируемых в будущем, могут предоставить более надежную информацию о времени разрушения стены. Полученные данные могут служить пост-датой обрушения хребта во время сильного сейсмического события и одновременно пре-датой для более позднего исторического землетрясения, разрушившего стену.

Согласно имеющемуся каталогу исторических землетрясений, на расстоянии примерно 4-5 км к западу от села Татев располагаются эпицентры 4-х исторических землетрясений, произошедших в 429 AD ($M=6.5$), 439 AD ($M=6.5$), 1138 AD ($M=6.6$) и 1308 AD ($M=6.1$). Учитывая расстояние от линии главного разлома до эпицентров исторических землетрясений и, приняв их эмпирическую глубину равную 10 км, можно оценить примерный угол падения плоскости смещения главного разлома в 65° - 70° при азимуте падения на юго-запад.

Таким образом, сеймотектонические исследования, впервые проведенные в южном окончании 9-го сегмента Памбак-Севан-Сюнникского разлома (PSSF-9), позволяют выяснить и уточнить не только геометрию и кинематику смещений по разлому, но и оценить и обосновать его сейсмическую активность на протяжении голоцен-исторического времени.

Լիտերատյրա

- Գեոթիսկ գիտահետազոտական ընկերություն. 2009. Գոթիժոր և Կարկաո երկրաջերմային տեղամասերում երկրաբանական դաշտային աշխատանքներ, Մագնիսաթելուրային (MT) խորագնում: Հայաստանի երկրաջերմային ծրագիր, GEF Դրամաշնորհ թիվ TF:092563, E82009, Երևան, թ., 214 էջ
- Hart E., Bedrossian, T., Ridley A. 1980. Greenville fault, east Livermore Valley: California Division of Mines and Geology, field trip guide. 9p.
- International Commission on Stratigraphy. 2020. International Chronostratigraphic Chart, www.stratigraphy.org
- International Consortium composed of AIR International (USA), GEM (Italy) and GEORISK Scientific Research CJSC (Armenia). 2018. Probabilistic Seismic Hazard Assessment for the Republic of Armenia, Project #7179350, 739p.
- Interpretation of the data of geothermal investigations at the Karkar Site. 2012. Independent interpretation of the results of the 3D MT, gravity and CO2 surveys conducted at the Karkar Site Project GEF-CS-4/2008, Final Report by GEORISK CJSC, 170 p.
- Karakhanyan A., Badalyan R., Harutyunian A., Avagyan A., Philip H., Davtyan V., Alaverdyan G., Makaryan K., Martirosyan M. 2016. SPE525-14. Archaeoseismological Studies at the Pambak-Sevan-Syunik Fault System, Armenia, Geological Society of America Special Papers, 525 p.
- Ritz J.-F., Avagyan A., Mkrtchyan M., Nazari H., Biard P.-H., Karakhanian A., Philip H., Balescu S., Mahan S., Huot S., Münch P., Lamothe M. 2016. Active tectonics within the NW and SE extensions of the Pambak-Sevan-Syunik fault: Implications for the present geodynamics of Armenia. Quaternary International, volume 395, p.61-78 (<https://www.journals.elsevier.com/quaternary-international>)
- Walker M., Johnsen S., Rasmussen S.O., Popp T., Steffensen J.-P., Gibbard Ph. , Hoek W., Lowe J., et al. 2008. Formal definition and dating of the GSSP (Global Stratotype Section and Point) for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core, and selected auxiliary records. Journal of Quaternary Science, vol. 24, issue 3, p.3–17
- White J.T., Karakhanyan A., Connor C.B., Connor L., Hughes J.D., Malservisi R., Wetmore P. 2015. Coupling geophysical investigation with hydrothermal modeling to constrain the enthalpy classification of a potential geothermal resource. Journal of Volcanology and Geothermal Research, p.59–70.

ԱՎԱԳՅԱՆ ԱՆՆԱՐԿՈՒՄԻ ԿԻՆԵՄԱՏԻԿԱՅԻ ԵՎ ՈՒԺԵՂ
ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԵՐԻ ՀԵՏԲԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒՄԸ
ՓԱՍԲԱԿ-ՍԵՎԱՆ-ՍՅՈՒՆԻԲ ԽՉՎԱԾՔԱՅԻՆ ԳՈՏՈՒ
ՀԱՐԱՎԱՅԻՆ ՍԵՓՄԵՆՏՈՒՄ

Բաղդասարյան Հ.Ռ., Առաքելյան Դ.Գ.

Ամփոփում

Փամբակ-Սևան-Սյունիք խզվածքի 9-րդ սեգմենտում աերոտիեզերական նկարների վերուծության և դաշտային աշխատանքների արդյունքում ստացված նոր տվյալները թույլ են տալիս վերագնահատել խզվածքի երկրաչափական պարամետրերը, որոշել ակտիվ տեղաշարժերի կինեմատիկան և ճշգրտել խզումնային զոտու առանձին կառուցվածքային տարրերի առնաձևահատկությունները: Ուսումնասիրման արդյունքում բացահայտվել են հնում տեղի ունեցած պատմական երկրաշարժերի հետքերը, հաստատվել են տվյալ տարածքում բարձր արխետեսյամիկության դրսևորման վկայությունները:

STUDY OF THE KINEMATICS OF ACTIVE DISLOCATIONS AND SIGNS OF STRONG EARTHQUAKES ON THE SOUTHERN SEGMENT OF THE PAMBAK-SEVAN-SYUNIK FAULT ZONE

Baghdasaryan H. R., Arakelyan D. G.

Abstract

The new data produced as a result of remote-sensing analysis of air photos and satellite images and the field works conducted on the 9th segment of the Pambak-Sevan-Syunik Fault enable a re-evaluation of the geometrical parameters of the fault, determination of the kinematics of active dislocations and clarification of individual features of structural elements of the faulting zone. The study enabled identifying signs of historical earthquakes that occurred in the past and recording evidence of high archeo-seismicity manifestations in the studied area.

ՄԱԳՄԱՅԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

LATE NEOPROTEROZOIC-EARLY CAMBRIAN, LATE PALEOZOIC
AND LATE JURASSIC GRANITOID MAGMATISM ON THE
NORTHERN ACTIVE MARGIN OF GONDWANA, TSAGHKUNYATS
ANTICLINORIUM OF LESSER CAUCASUS
(CENTRAL-NORTHERN ARMENIA)

Galoyan Gh.L.^{1*}, Chung S.-L.², Melkonyan R.L.¹, Lee Y.-H.³, Atayan L.S.¹,
Ghukasyan R.Kh.¹, Khorenyan R.H.¹, Grigoryan A.G.¹, Sahakyan S.S.,
Avagyan N.A.¹

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

²*Department of Geosciences, National Taiwan University, Roosevelt Rd., Taipei 106, Taiwan*

³*Department of Earth and Environmental Sciences, National Chung Cheng University, 168
University Rd., Chia-Yi 62102, Taiwan*

**Corresponding author E-mail : ghazar.galoyan@gmail.com*

Received by the Editor 25.05.2020

Abstract

Tsaghkunyats antiform or Crystalline basement in Armenia is a unique geotectonic structure characterized by its multistage magmatism, metamorphism and orogeny. Numerous investigations have been carried out on the granitoids present here and dated from Precambrian to the Upper Cretaceous (Jurassic), while the issues of their petrogenesis, geodynamics and emplacement ages remained controversial. After a revision of those issues we present new field observations, bulk rock geochemistry and U-Pb zircon geochronology to assess the age and the tectonic setting of various granitoids cropping out in the Lesser Caucasus Precambrian basement of Tsaghkunyats as a part (core?) of Gondwana-derived South Armenian microplate (SAM). New zircon U-Pb crystallization ages range from Late Neoproterozoic to Early Cambrian (~545–530Ma) for the granitic gneisses; from Middle to Late Permian (~270–250Ma) for the plagiogranites (trondhjemites); and from Late Jurassic to Early Cretaceous (~155–140Ma) for the tonalite formation rocks. Geochemically, these various aged granitoids are calc-alkaline, peraluminous and are characterized by enrichment of LILEs and Th, with pronounced minimums of Nb-Ta and Ti, and high LREE/HREE ratios indicating subduction-related magmatic events. As for the geodynamic setting, all these granitoids are geochemically continental arc-type and their presence may suggest southward subduction episodes of Proto-, Paleo- and Neotethys under SAM active margin of northern Gondwana during above-mentioned time intervals.

Keywords: Tethyan belt; Lesser Caucasus; Armenia; Tsaghkunyats crystalline basement; granitoid magmatism; geodynamics; geochemistry; geochronology

Introduction

The NW–SE trending Amasia-Sevan-Hakari suture zone (Galoyan and

Melkonyan, 2011) in Lesser Caucasus represents a major Neotethyan suture zone (e.g., Galoyan et al., 2009; Rolland et al., 2009; Sosson et al., 2010; Hassig et al., 2013) separating the Eurasian and Gondwanan continental margins (e.g., Knipper and Khain, 1980) in the central part of Alpine-Himalayan orogenic belt. Located in the south of this suture zone Tsaghkunyats crystalline basement (or Massif) or Tsaghkunyats anticlinorium is the oldest geological unite in Armenia (fig.1), which is generally considered as a part (namely core) of South Armenian microplate (henceforth SAM) derived from Gondwana.

Many researchers have addressed and clarified the issues of geology, tectonics, stratigraphy, petrology and ore mineralization of the area of Tsaghkunyats antichnorium especially since 1930s, until the end of 1980s with a downward trend of interests. Particularly, their findings are summarized in works of V.N. Kotlyar, K.N. Paffenholtz, V.P. Rengarten, A.T. Aslanyan, G.P. Baghdasaryan, R.A. Arakelyan, A.H. Gabrielyan, S.A. Balasanyan, A.R. Harutyunyan, H.E. Nazaryan, V.A. Aghamalyan, A.A. Belov and S.D. Sokolov, B.M. Meliksetyan, R.Kh. Ghukasyan, Z.H. Chibukhchyan, R.H. Khorenyan, Sh.V. Khachatryan and many others. After the latest fundamental a few monographs (i.e., Khorenyan, 1982; Chibukhchyan, 1985), single works focused on the petrology and age issues of the granitoids that are present here (e.g., Aghamalyan et al., 1997; Hassig et al., 2015). Therefore, for the first time after a relatively break of more than thirty years, an attempt is made to refer to the older granitic rocks constituting a significant part of the oldest Precambrian-Paleozoic basement of Armenia (fig.2).

The purpose of this study is to revise the general geological, petrologic, geochemical and geochronological issues of a number of granitoid intrusions exposed within the limits of the Tsaghkunyats anticlinorium. Particularly, it refers as to the *plagiogranites* (trondhjemites) and *granite-gneisses* being the oldest (?) magmatic rocks in the antichnorium and generally in the boundaries of Armenia, whose age is/was considered Precambrian-Upper Proterozoic (see below for details), as well as to several intrusions of *tonalitic formation* (quartz diorite-tonalite-granodiorites) of Lower Cretaceous (formerly dated as Neocomian and younger).

The importance of research is the detailing/solution of existing stratigraphic, petrological, geochronological, and geodynamic problems in accordance with the modern ideas and more realistic geodynamic models. What's the *scientific novelty* of this study? The intended complex researches, and U-Pb dating in various aged granitoid rocks will allow the revealing of: (1) the peculiarities of their material composition; (2) the geochronology of various aged intrusions; (3) the possible genetic link or absence between different facies; (4) the geodynamic setting of the formation of these intrusions; as well as (5) their connection with the adjacent Paleozoic-Mesozoic geological complexes (e.g., Lesser Caucasus ophiolites; carbonate-slope deposits of Gondwana). Obviously, it is impossible to give an exhaustive answer to all the questions raised in one work.

Hence, the study involves a wide range of issues that relate to the aforementioned goals and to their implementation solutions. Particularly, in this paper important attention will be given to the various aged granitoid formations cropping out in the Kotayk, Aragatsotn and partially Lori provinces of the Republic of Armenia, which are part of the Tsaghkunyats antichnorium of Hankavan-Zangezur tectonic zone (Gabrielyan, 1974). This anticlinorium geographically includes the Tsaghkunyats mountain range and the central and western regions of the Pambak range bordering on the north. It is also bordered with Hankavan (or Marmarik) fault zone from Paleogene Sevan-Shirak synclinorium to the north. Marmarik fault coincides with the axis of Marmarik river valley and is represented by several intrusive massifs of the Alpine tectonic stage, from which the younger intrusions, starting from the Middle Eocene ages, will not be reconsidered within the scope of this project. Below we will present the setting, tasks, new data and descriptions with the analysis and interpretation of the results.

Brief stratigraphy

According to studies of the above-mentioned authors, Tsaghkunyats (or Miskhana-Arzakan, or Arzakan-Spitak) antichnorium (or horst-anticlinorium) consists of the oldest Upper Proterozoic-Paleozoic (?) to the Quaternary aged various formations, whose total thickness exceeds 5000m (Aslanyan, 1958; Kotlyar, 1958; Paffenholtz, 1959; Gabrielyan et al., 1968; and many others). H. Nazaryan (1964) described the internal structure of the anticlinorium in detail. The geological section has the following general look.

The earliest formations are represented by the metamorphic rocks of the Precambrian-Lower Paleozoic crystalline basement, namely various schists, amphibolites, schistosed and dismembered gabbro-peridotites, marbles, phyllites, quartzites, gneisses, etc. In the geological sequence these are known as suites of “Arzakan”, about 500m thick; of “Bjnuyal”, about 400m, and of “Dzoraglukh”, up to 1000m (Arakelyan, 1957, 1959). Detailed information about these rocks, after the monograph of V. Kotlyar (1958), is summarized in V. Aghamalyan’s fundamental work (Aghamalyan, 1998). In the structure of Tsaghkunyats Massif, two Precambrian terranes of Arzakan (of ensialic nature) and of Hankavan (of ensimatic nature) are separated by Aghamalyan (2004). In recent years a partial assessment of the P-T-t conditions of metamorphism in this massif of the crystalline basement of Tsaghkunyats is also done (Lor-sabyan, 2013; Hassig et al., 2015). Metamorphic rocks are cut off by a number of granitoid bodies, based on the oldest Rb-Sr isochrone ages of which the oldest Late Proterozoic age of this metamorphic complex had been confirmed. However, this question will be discussed in the following sub-section.

Jurassic (?) formations are represented by weakly metamorphosed or relatively fresh volcanic, volcano-sedimentary formations that are mainly cropped out in the western part of the anticlinorium (fig.2), and are known as: “Aghve-ran suite” of Ordovician (?) (800m thick; Arakelyan, 1957), an “Ancient

volcanic series” of Lower Paleozoic (600m thick; Kotlyar, 1958) or Lower Silurian (Aslanyan, 1958), or “Aparan series” of Lower-Middle Devonian (Gabrielyan et al., 1968) or Lower-Middle Jurassic (more than 6 km thick; Aghamalyan, 1987). The latter includes also terrigenous sedimentary rocks (e.g., Saralanj village region), which, according to V. Aghamalyan, are comparable with the similar formations of Lower-Middle Jurassic of the Shamshadin anticlinorium in Northern Armenia (Magm. and metam. form. ArmSSR, 1981). Stratigraphic and petrographic issues of these formations have been thoroughly studied by Belov and Sokolov (1973), who attributed the age of this series to the Lower-Middle Mesozoic era without specifying. According to these authors, Aparan series does not lie discordantly on older formations, on the contrary, the metamorphic complex is trusted over it along a gentle tectonic surface. The explanation of the petrological issues of a part of these volcanic rocks is also summarized in Khorenyan's (1982) monograph. A. Grigoryan (2014) among the olistoliths of the Melikgyugh (village) member of the Tukhmanuk suite of the Aparan series discovered a rich microfaunistic complex of conodonts, fish scales and their teeth. The age of limestone olistoliths, according to the identified conodonts of the genus *Palmatolepis* and *Siphonodella*, is determined as Late Famennian. Without going into new details, let's just emphasize that the issues of the composition and the age of “Aparan series” remain problematic, and will be addressed in a separate study.

Cretaceous formations. Though actually the Lower Cretaceous formations (i.e. Aparan series) are shown in some geological maps, in fact they are missing here. Upper Cretaceous formations begin with Upper Turonian-Lower Coniacian terrigenous sediments (sometimes up to 200m thick), which are transgressive, and overlie the previous series with an angular unconformity. These are overlain by Upper Coniacian-Lower Santonian again terrigenous formations (about 100m thick), which are replaced in the section with Santonian marly limestones of 200m thick (Kotlyar, 1958). In particular, on the right bank of the Hrazdan river, near the village of Bjni, the metamorphic schists of the oldest Arzakan suite are transgressively and with sharp discordance covered by the pinkish-gray calcareous sandstones, light gray terrigenous limestones and siltstones of Upper Coniacian (Hakobyan, 1978). Upwards they are covered with various limestones and siltstones of Santonian-Maastrichtian; their total thickness is about 90m. According to this author, to the north of the study area (fig.2), on the left bank of Marmarik River (norther of Hankavan village) the Aparan series and metamorphic rocks are unconformably covered by Lower Coniacian calcareous siltstones (30m) and Upper Coniacian terrigenous-carbonate thicker (160m) sediments.

Paleogene formations. Volcanogenic-sedimentary formations of Eocene that are about 2000m thick, with the conglomerates of base, are spread in the northeastern parts of the anticlinorium, which make up the thick Sevan-Shirak synclinorium of Paleogene (Sarkisyan, 1966), in which the volcanic formations of the Middle Eocene dominate. Meanwhile, Nummulitic limestones of lower Eocene have been preserved in the nuclei of local synclines in the Hrazdan

River valley. Miocene-Pliocene thick series (about 300m) of intermediate and acid composition lavas and tuffs occupies the highest relief areas in this anticlinorium, covering almost all previous formations (Kotlyar, 1958). Metamorphic rocks of this anticlinorium along mainly the valley of Hrazdan River (or Hrazdan fault) are confined from the east by the Quaternary lava flows (Gabrielyan et al., 1968). Thus, although a number of stratigraphic questions also need to be revised, they are out of the scope of this paper; some may be partly solved in parallel and we will address these questions later.

Granitoid plutonic manifestations and their age issues

Granitoids play a significant role in the Tsaghkunyats anticlinorium where they are represented with several large and numerous smaller intrusive bodies (Geology of ArmSSR, v.3, 1966; Magm. and metam. form. ArmSSR, 1981). According to the composition, these are grouped into granite-gneisses (also known as “migmatite-granites”), plagiogranites (or leucocratic granites or trondhjemites; in honor of Kotlyar, we also prefer to use the term of plagiogranite) and tonalitic formation rocks (quartz diorite-tonalite-granodiorite). The age subdivision of these intrusions with direct geological observations presents considerable complications considering: (1) the absence of continuous stratigraphic section of the region, (2) the different grade of metamorphism of present rocks, (3) the absence of exact age(s) of the metamorphism, and (4) the tectonic complexity of the region. Still in 1958, V. Kotlyar by principle of analogy with the other Lesser Caucasus massifs of Georgia attributed the plagiogranites to the Paleozoic age, and A. Aslanyan did the same for the Arzakan-Bjni massif of the granite-gneisses. By the way, R. Arakelyan (1959) was one of the first, who mentioned that the plagiogranites cut some gabbro massifs in the Tsaghkunyats anticlinorium, whose age also remains uncertain here. In another paper, we will focus on the problem of mafite-ultramafites as well.

Plagiogranites make up tens to hundreds of small bodies (the larger ones, up to 5-6, rarely 10-12km²; Chibukhchyan, 1985), especially, in amphibolites and amphibole schists of Hankavan-Aparan series (Baghdasaryan, Ghukasyan, 1961): Most of the bodies are outcropped at the interfluves of Marmarik and Kasakh rivers. These granites are represented by lens-like, dyke-like, often stock-shaped, as well as stratal intrusions of very different sizes (from a few cm to a several meters thick), and intrusive contact relationship with the host rocks can be easily observed. Their intrusion has often accompanied with the granitization and migmatitization processes of hosting metamorphic rocks (Magm. and metam. form. ArmSSR, 1981). Most of plagiogranite bodies have a chaotic spread, though the larger ones are characterized by a sub-latitudinal strike (Chibukhchyan, 1985) that is consistent with the heredity of the region's main tectonic structures. Macroscopically these are light gray (with a white surface), fine-medium to coarse-grained rocks that do not exhibit any variety of mineral composition (see details below section of petrography). Based on field observations, we also share the view of Aghamalyan et al. (1997) that the

intrusion of trondhjemite magma occurred at the final stage of folding and metamorphism of the hosting amphibolite stratum, when the latter was still sufficiently heated (i.e. was in a plastic state) that causes the mostly conformal occurrence of plagiogranite bodies and the absence of quenching contacts.

Granite-gneiss formation is known especially by the largest Arzakan-Bjmi massif (12km²), and other smaller bodies, which is exposed between the villages of Arzakan and Bjmi (Baghdasaryan, Ghukasyan, 1961; Paffenholtz, 1959, 1970) and is exclusively emplaced within the metamorphic series, where the Coniacian-Santonian sediments cover the intrusion and hosting metamorphic rocks. Latter both are cut by several thin diabase dikes of unknown age. It should be noted that, unlike the plagiogranites, the impact of metamorphism on these rocks is considerable, at least their gneissification with an augen texture is a visible fact in the field. These rocks reveal strong foliation and mineral lineation, and, in places, they are massive and preserve their original magmatic fabric. Macroscopically these are light to darker gray (with a pinkish-red surface), medium- to coarse-grained rocks. Unlike of the former group of granites the alkali feldspar is a main mineral phase here.

Tonalitic formation intrusions are known in this antichronium with the names of Aghveran, Hankavan (including Artavaz (Takarlu) one), Guegharot and Mirak, all of which are included in this study. The massifs of Aghveran (25km²) and Hankavan (40km²) cut the various series of metamorphic schists. In addition, the latter also cuts the aforementioned plagiogranites in some places. The Guegharot massif (30km²), which is emplaced in the north-western edge of the study area, is intruded in the slightly metamorphosed “porphyrites” of the Spitak Pass (Baghdasaryan, Ghukasyan, 1961), and the lesser Mirak intrusion is localized in the main “Aparan series” north of the city Aparan (Fig. 2). In terms of petrography, these intrusions are compositionally quite close to each other and are similar to those of the same composition (diorite-quartz diorite-tonalite-granodiorite-veined leucogranite series) intrusions of the Somkheto-Karabagh tectonic belt of NE Lesser Caucasus.

By comparing the “gneissic granites” with other Georgian older massifs, Paffenholtz (1970) concluded that these are Cambrian-Precambrian (old-Caledonian orogenic phase) in age. Kotlyar (1958) attributed plagiogranitic intrusions age presumably to the Paleozoic (undivided), and Paffenholtz connected their intrusion with the “Sudeten” tectonic phase (the end of the Early and the beginning of the Middle Carboniferous) of Hercynian folding. Baghdasaryan and Ghukasyan (1961) attributed the origin and intrusion of plagiogranites to major orogenic movements. By using the K-Ar method, these authors obtained ages ranging from 130 to 164Ma for both rocks and minerals (plagiogranites and muscovites in them). Later, the researchers obtained 283Ma and younger ages (57Ma), so based on the varying degree of rocks alteration, i.e. “argon rejuvenation” due to loss of radiogenic argon, the plagiogranites was attributed an age of at least 261±14Ma (Magm. and metam. form. ArmSSR, 1981).

Though, mainly with Rb-Sr isotopic dating the intrusion ages of 610 ± 36 Ma for granite-gneiss (Baghdasaryan, Ghukasyan, 1983) and the oldest of 685 ± 77 Ma for trondhemite (plagiogranite) massifs (Aghamalyan et al., 1997) were given, the problem can't be considered resolved. Over time, the research laboratories of advanced countries are striving for the acquisition and using of reliable and accurate analytical equipment for any rock dating. Accordingly, to double check these ages for consistency, we applied U-Pb dating on zircons, since in recent decades, this method is considered as more reliable for dating metamorphic and magmatic units, rather than Rb-Sr method.

In recent years, the isotopic ages of many magmatic formations on the territory of Armenia and partly of Karabagh are revised as part of Armenian-Taiwanese scientific cooperation. Particularly, thanks to the support of Taiwanese universities (namely Isotope laboratories of National Taiwan and National Chung-Cheng universities) we acquired new U-Pb ages in zircons from this area (table 1). U-Pb isotopic analyses were performed by the laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry (LA-ICP-MS) method, following the procedures in (Chiu et al., 2009). It is noteworthy that new U-Pb dating does not confirm the mentioned ages of granite-gneisses at the Bjni village area. In three representative rock samples we received new ages of around 545-530Ma which corresponds to the boundary of latest Neoproterozoic (Late Ediacaran) and Early Cambrian periods in the *International Chronostratigraphic Chart* (2020). At the same time, during one of the quickly done field observations, a question arose in our mind about the considered "oldest" in Armenia plagiogranites (trondhemites), depending on their field appearance. In contrast to the orthogneisses (granite-gneiss) of Bjni, no deformation phenomena are present (there is almost not stress influence macroscopically) in plagiogranites, which doubted us to compare them with the Middle Jurassic plagiogranites of the Somkheto-Karabagh zone (e.g., Haghpata massif). Although our new U-Pb dating results of ~ 270 -250Ma (average of two samples)

Table 1

Sampling site coordinates and U-Pb ages of the granitoids from
Central-Northern Armenia

<i>Sample</i>	<i>Name of rock</i>	<i>Latitude (°)</i>	<i>Longitude (°)</i>	<i>Ma (2σ)</i>	<i>Name of Massif</i>
BJ-08	granite-gneiss	40.47123	44.64305	532.7±5.6	Bjni
ARM11-2A	granite-gneiss	40.46822	44.64504	554±14	Bjni
ARM12A	granite-gneiss	40.47119	44.64299	545±14	Bjni
ARM01A	plagiogranite	40.68445	44.48699	255±7	Hankavan
ARM08A	plagiogranite	40.57685	44.68398	268±10	Marmarik
ARM03A	tonalite	40.65280	44.47489	159±5	Hankavan
ARM06A	tonalite	40.61178	44.57734	156±4	Artavaz
BJ-16	tonalite	40.51728	44.56438	154.7±1.4	Aghveran
ARM14A	leucogranite	40.51203	44.56774	161±4	Aghveran
ARM18-1A	tonalite	40.73493	44.19888	140±4	Guegharot
ARM18-2A	leucogranite	40.73493	44.19888	143±4	Guegharot
6377	tonalite	40.62298	44.34125	141.6±1.4	Mirak

have shown that these plagiogranites were relatively older (i.e., Middle-Upper Permian) than Jurassic presumed, however they became much younger than considered Neoproterozoic (Precambrian) age determinations were (Rb-Sr, $685 \pm 77\text{Ma}$; Aghamalyan et al., 1997).

In the tonalitic formation, the K-Ar ages from Lower (137-120Ma) to Upper Cretaceous (105-75Ma) were brought for the above-mentioned intrusions (Baghdasaryan, Ghukasyan, 1985). Later, the Rb-Sr age revision of Guegharot massif yielded an age interval between the latest Jurassic and Early Neocomian ($147 \pm 11\text{Ma}$; Baghdasaryan, Ghukasyan, 1990). The only older and reliable published age, in recent years, is that of granodiorite-leucogranites of the Aghveran massif (155-150Ma; Hassig et al., 2015) for the entire anticlinorium, which corresponds to the Late Jurassic epoch. In addition, application of U-Pb method to date tonalite-granodiorite±granite series rocks yielded new ages of 147-140Ma for Guegharot and Mirak intrusions, of 164-152Ma for Hankavan massif and of 165-154Ma for Aghveran massif. Generalizing the magnitude of the error (2σ) we can take 156-140Ma, as a single age interval of Late Jurassic-Early Cretaceous for tonalite formation that coincides well (though slightly younger) with other intrusions (e.g., Shnogh-Koghb, Chochkan, Mehmana) from Somkheto-Karabagh magmatic belt of Jurassic (Galoyan et al., 2013, 2018).

Petrography

Petrographic issues have been addressed by almost all previous researchers. It is already obvious that granites described in this study fall into three age groups. The oldest granite-gneisses are characterized by hypidiomorphic-granular texture, where acidic plagioclase, quartz and alkali feldspar (generally microcline), minor muscovite and biotite (these two latter are partly secondary) are main minerals, while sericite, epidote, chlorite and pelitic minerals are secondary. Accessories are represented by apatite, zircon and opaque mineral(s). The (modal) compositional plot of QAP diagram (of Streckeisen, not shown) classifies the rocks as monzogranite and a few samples as granodiorite.

Plagiogranites are represented by fine- and medium-, rarely coarse-grained, occasionally porphyritic varieties, with the hypidiomorphic- to allotriomorphic-granular textures. Mineral composition is very simple, represented by acid plagioclase as a dominant mineral and quartz (together 90-95vol.%), sometimes hornblende, biotite and muscovite (two latter are partly secondary). The secondary minerals are sericite, chlorite and epidote, while the accessories are apatite, opaque minerals, zircon and rarely tourmaline (secondary (?), metasomatic).

Tonalitic formation intrusions are compositionally represented with the diorites (started from several gabbro to gabbro-diorite darker enclaves, except metamorphic host-rock ones), quartz diorites, tonalites, granodiorites that are related facially, except the veined and dike-like pinkish granite-aplites that are

Table 2

Chemical compositions of the granitoids from Central-Northern Armenia
(the major elements in wt%, other elements in ppm, LOI is not defined).

*Mg# = 100*Mg/(Mg+Fe²⁺); ogs – orthogneiss, tdhj – trondhjemite, Q dior. – quartz diorite, leucogr – leucogranite.

U-Pb age	Precambrian			Middle-Upper Permian					
Sample	BJ-08 Bjn	ARM11-2A	ARM12A	ARM01A	ARM02A	ARM04-2A	ARM08A	ARM08-2A	ARM15A
Name	ogs	ogs	ogs	tdhj	tdhj	tdhj	tdhj	tdhj	tdhj
N ^o (40.)	.47123	.46822	.47119	.68445	.66844	.63787	.57685	.57685	.61302
E ^o (44.)	.64305	.64504	.64299	.48699	.47206	.50037	.68398	.68398	.41186
SiO ₂	76,30	72,35	81,41	71,19	73,53	71,84	71,09	71,84	70,19
TiO ₂	0,19	0,65	0,05	0,15	0,13	0,10	0,20	0,10	0,11
Al ₂ O ₃	14,03	12,91	10,48	16,17	15,81	16,76	18,90	17,17	17,22
Fe ₂ O ₃	1,63	3,20	1,02	0,95	0,90	0,88	1,02	0,23	0,69
MnO	0,02	0,06	0,01	0,02	0,02	0,02	0,00	0,01	0,02
MgO	0,25	1,70	0,38	0,75	0,59	0,56	0,23	0,29	0,74
CaO	0,52	1,91	0,31	1,26	1,49	0,93	0,23	0,99	1,99
Na ₂ O	3,31	3,97	3,57	6,64	6,12	6,57	4,54	5,79	6,67
K ₂ O	4,38	1,25	3,47	1,92	0,96	1,83	2,71	1,84	0,77
P ₂ O ₅	0,06	0,21	0,06	0,08	0,08	0,07	0,03	0,08	0,06
Total	100,7	98,2	100,7	99,1	99,6	99,6	98,9	98,3	98,5
(Mg#)*	25	54	44	63	59	58	33	73	70
Rb	133,8	47,0	103,7	30,3	22,9	53,1	93,5	32,8	17,9
Sr	112	95	77	234	306	203	110	332	329
Y	29,3	29,0	14,4	3,2	3,5	2,5	3,5	2,8	1,8
Zr	142	232	55	71	71	46	67	53	48
Nb	8,7	10,9	3,1	1,0	1,1	0,7	1,00	0,9	1,10
Ba	760	256,0	375	364	229,0	333	195	273	140
Hf	4,47	5,8	2,16	2,07	2,0	1,47	2,01	1,68	1,49
Ta	1,197	0,923	0,772	0,077	0,082	0,055	0,074	0,063	0,099
Pb	7,3	16,3	4,2	5,74	13,3	11,5	11,6	2,95	4,3
Th	21,37	9,8	14,27	0,81	1,0	0,49	0,71	0,20	0,2
U	1,84	1,49	0,9	0,38	0,41	0,15	0,15	0,14	0,09
V	15,09	67,36	15,30	11,12	7,28	4,37	23,9	11,6	6,68
Cr	47	86	145	54	181	54	28	36	30
Co	2,3	9,1	1,6	3,0	2,9	2,0	1,3	2,7	2,9
Ni	23	35,0	74	29,3	88,5	21	18	20	18
Cu	5,0	26,13	6,75	3,48	6,79	3,4	3,2	7,2	2,5
Zn	15,9	43,3	8,5	13,9	13,6	10,5	17,1	10,1	21,9
La	30,7	32,2	14,4	2,8	3,5	1,5	1,3	1,0	0,8
Ce	67,5	64,0	34,7	6,4	7,3	2,9	2,2	2,3	1,5
Pr	6,59	7,42	3,35	0,84	0,92	0,397	0,37	0,31	0,21
Nd	22,5	27,7	11,7	3,4	3,7	1,5	1,5	1,3	0,9
Sm	4,38	5,75	2,58	0,86	0,83	0,39	0,39	0,37	0,28
Eu	0,718	1,287	0,311	0,293	0,275	0,196	0,148	0,271	0,174
Gd	3,94	5,41	2,2	0,81	0,77	0,45	0,47	0,45	0,32
Tb	0,679	0,826	0,375	0,107	0,106	0,071	0,085	0,073	0,047
Dy	4,35	4,99	2,38	0,60	0,60	0,41	0,54	0,47	0,27
Ho	0,982	1,023	0,521	0,109	0,118	0,081	0,111	0,095	0,057
Er	2,87	2,81	1,52	0,29	0,31	0,22	0,31	0,25	0,14
Tm	0,476	0,420	0,253	0,044	0,046	0,034	0,045	0,038	0,024
Yb	3,20	2,59	1,72	0,28	0,33	0,21	0,31	0,25	0,18
Lu	0,481	0,383	0,269	0,044	0,050	0,035	0,049	0,038	0,027
ΣREE	149,3	156,8	76,3	16,9	18,8	8,4	7,9	7,3	4,9
Eu/Eu*	0,53	0,71	0,40	1,07	1,05	1,43	1,06	2,03	1,78
(La/Sm) _n	4,52	3,62	3,60	2,10	2,72	2,48	2,15	1,74	1,84
(La/Yb) _n	6,88	8,92	6,01	7,17	7,61	5,12	3,01	2,87	3,19
Dy/Yb	1,36	1,93	1,38	2,14	1,82	1,95	1,74	1,88	1,50
Ba/Rb	5,68	5,45	3,62	12,00	10,01	6,27	2,09	8,34	7,83
Rb/Sr	1,19	0,49	1,35	0,13	0,07	0,26	0,85	0,10	0,05

<i>Upper Jurassic-Lower Cretaceous</i>									
ARM1 6A	ARM0 3A	ARM05 A	ARM 06A	BJ-16 Agv	ARM13 A	ARM 14A	ARM18 -1A	ARM 18-2A	6377 Mrk
tdhj	tonalit e	Q dior.	tonalit e	tonalite	Q dior.	leucog r	tonalite	leucog r	tonalite
.61407	.65280	.62928	.6117 8	.51728	.51395	.5120 3	.73493	.7349 3	.62298
.41560	.47489	.53695	.5773 4	.56438	.56790	.5677 4	.19888	.1988 8	.34125
70,88	65,94	63,68	64,63	63,93	61,45	76,97	63,00	77,44	63,94
0,13	0,59	0,68	0,59	0,67	0,82	0,19	0,68	0,08	0,68
17,31	16,34	16,57	16,59	17,17	16,62	13,18	17,41	12,64	18,12
0,84	3,80	4,22	4,07	4,32	5,37	1,09	4,24	0,34	4,78
0,04	0,07	0,06	0,07	0,07	0,09	0,02	0,07	0,00	0,09
0,61	2,14	2,79	2,82	2,99	3,59	0,62	2,40	0,12	2,27
3,29	2,60	4,71	4,26	4,69	5,52	1,04	4,63	0,81	4,70
5,27	4,56	4,65	4,28	4,05	4,51	4,69	4,54	2,93	3,92
0,95	2,05	1,07	2,17	1,66	1,14	2,24	1,65	5,27	1,75
0,07	0,22	0,26	0,23	0,24	0,25	0,06	0,19	0,04	0,20
99,4	98,3	98,7	99,7	99,8	99,4	100,1	98,8	99,7	100,4
61	55	59	60	60	59	55	55	43	51
28,0	62,0	31,4	68,5	48,5	28,1	43,9	27,3	69,4	46,4
355	579	649	547	577	616	322	427	102	462
3,2	13,9	10,6	11,2	10,8	17,4	4,1	17,7	8,5	15,2
70	185	154	138	120	170	55	153	72	158
1,10	14,4	12	13,60	10,900	15,3	7,80	13,40	13,00	14,1
168	675	270	537	413,00	420	411,0	337	304	450,0
1,75	4,34	3,49	3,3	2,750	4	1,83	3,50	2,85	3,620
0,080	1,084	0,773	0,995	0,637	1,09	0,968	0,964	2,812	0,932
11,0	12,0	10,51	28,44	7,830	36,18	12,11	4,1	6,2	3,12
0,57	9,90	7,66	9,8	6,7600	8,53	21,76	4,45	17,58	3,680
0,14	2,62	1,82	1,66	1,200	1,41	2,44	0,84	5,24	0,99
3,0	70,92	77,99	74,49	73,8	99,02	20,23	79,34	5,3	77,31
16	118	63	66	133	110	51	63	30	57
1,7	11,0	12,0	12,0	13	16	3	10,8	0,9	12
9	67	37	44	75,2	59	25	38,6	17	35
4,10	15,10	16,4	9,79	17,9	18,1	5,6	88,48	5,40	4,5
13,2	52,8	62,7	49,9	53,2	56,3	15,3	32,8	46,9	46,5
2,2	33,4	26,6	29,7	24,1	29,5	33,3	16	23,3	22,7
4,7	62,3	45,9	52,0	43,70	54,6	46	31,5	36,9	40,30
0,597	6,99	5,03	5,56	4,931	6,10	3,74	3,71	3,36	4,466
2,4	24,8	18,11	19,3	17,83	21,9	9,9	14,2	9,6	16,22
0,56	4,36	3,26	3,44	3,110	4,14	1,20	3,05	1,44	3,08
0,230	1,278	0,973	1,032	0,963	1,19	0,49	0,971	0,394	1,06
0,52	3,68	2,79	2,93	2,470	3,69	1,09	3,11	1,33	2,84
0,077	0,451	0,351	0,366	0,351	0,512	0,116	0,467	0,189	0,438
0,47	2,48	1,91	2,01	1,930	2,99	0,6	2,97	1,24	2,56
0,101	0,470	0,375	0,39	0,377	0,612	0,129	0,62	0,288	0,532
0,3	1,28	0,99	1,04	0,980	1,66	0,39	1,73	0,94	1,47
0,049	0,183	0,143	0,150	0,139	0,251	0,061	0,264	0,173	0,225
0,36	1,23	0,89	0,99	0,900	1,64	0,45	1,75	1,37	1,47
0,059	0,184	0,137	0,151	0,141	0,248	0,074	0,272	0,240	0,229
12,6	143,1	107,5	119,1	101,9	129,0	97,5	80,6	80,8	97,6
1,30	0,98	0,99	0,99	1,06	0,93	1,30	0,96	0,87	1,10
2,54	4,95	5,27	5,57	5,00	4,60	17,91	3,39	10,45	4,76
4,38	19,48	21,44	21,52	19,21	12,90	53,08	6,56	12,20	11,08
1,31	2,02	2,15	2,03	2,14	1,82	1,31	1,70	0,91	1,74
6,00	10,89	8,60	7,85	8,51	14,96	9,36	12,35	4,38	9,70
0,08	0,11	0,05	0,13	0,08	0,05	0,14	0,06	0,68	0,10

posterior series (second phase). The rocks are characterized mainly by hypidiomorphic-granular, sometimes porphyraceous textures. Main minerals of these rocks are represented by various proportion of medium to acid plagioclase, quartz, potassium feldspar (in granite-granodiorites) minerals, as felsic, and pyroxene, mainly amphibole and biotite as well as mafic minerals. Accessories are opaque (mainly magnetite) minerals, apatite, zircon, rarely sphene and rutile. Secondary minerals are represented by sericite, pelite, carbonate, chlorite, epidote and hmonite.

In the normative anorthite–albite–orthoclase (An–Ab–Or) ternary diagram (O'Connor, 1965), these granitoids plot in granite, trondhjemite and tonalite (with few granodiorites) fields, respectively (fig.3A).

Geochemistry

A total of 19 samples from three different groups of granitoid intrusions from the studied antichnorum (fig.2) have been selected for major, trace and rare earth element analysis that are determined at the Chemical laboratory of Department of Geosciences of National Taiwan University (NTU). Particularly, the major oxide determinations were done by X-ray spectrometry (XRF), and rare earth and other trace-elements by the method of inductively-coupled plasma Mass spectrometry (ICP-MS). Geochemical composition of the granitoids is shown in (table 2).

Major elements. All studied rocks are characterized by the normal-alkaline chemistry (i.e. sub-alkaline series) and according to TAS diagram (total alkali vs. silica, not shown) plot to mainly dacite and rhyolite fields with a few quartz diorites that are in the andesite field. The studied granitoids are sub-alkaline with well-developed calc-alkaline trend on the AFM diagram (fig.3B). The granite-gneisses are more felsic in composition, their SiO_2 content range between 72-81wt.% and they have relatively low Al_2O_3 contents of 10-14wt.%. The plagiogranites reveal lower SiO_2 contents (70-74wt.%) and increase of the Al_2O_3 contents between 16-19wt.%. In the tonalitic formation rocks SiO_2 contents are 61-66wt.% and around 77wt.%, and Al_2O_3 contents are 16-18wt.% and around 13wt.%, respectively, in the first phase quartz diorite-tonalites/granodiorites and pinkish leucogranites (granite-aphte) of second phase. Based on geochemical classification for granitic rocks (Frost et al., 2001) these samples are *peraluminous* with the aluminum saturation index ($\text{ASI} = \text{Al} / (\text{Ca} - 1.67\text{P} + \text{Na} + \text{K})$) of 1.0-1.9 (i.e. are corundum-normative), which means that they have more Al than can be accommodated in feldspars and that they must have another aluminous phase present (fig.3C). There are no clear differences between the various aged series in the modified alkali-lime index ($\text{MALI} = \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{CaO}$) vs. Si diagram (fig.3D) that classified rocks into alkalic, alkali-calcic, calc-alkalic, and calcic groups (Frost et al., 2001). In the K_2O versus SiO_2 diagram (Le Maitre et al., 1989; not shown) all granitoid samples plot in the low- and medium-K fields. The Mg # (Mg-number) varies from 25 to 54, from 33 to 73 and from 43 to 60 for granite-gneiss, plagiogranite and tonalitic series, respectively.

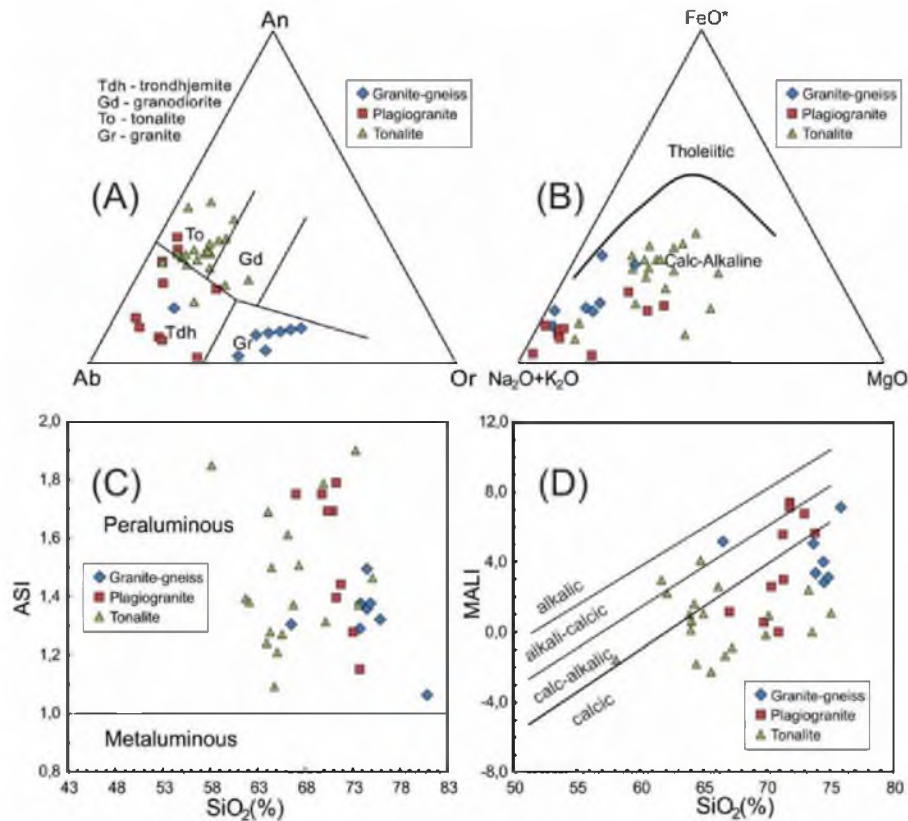


Fig.3. A – Normative anorthite-albite-orthoclase compositions of the units (after O'Connor, 1965); B – AFM (total alkali – total FeO* – MgO) plot for studied rocks of the study area. The boundary line for field discrimination of calc-alkaline and tholeiitic rocks is after Irvine and Baragar (1971); C – Plot of ASI (aluminum saturation index) vs. silica, and D – Plot of MALI (modified alkali-lime index) vs. silica diagrams of (Frost et al., 2001, 2008). Five analyses of granite-gneisses from literature (Chibukhehyan, 1985) have also been included in these diagrams.

Trace elements. In normal Mid-ocean ridge basalt (N-MORB) normalized (Sun and McDonough 1989) multi-element diagrams the patterns of various granitoids are characterized by increase in Ba, Rb, K large-ion lithophile elements (LILE) and Th, and by decrease in Nb-Ta, P (except plagiogranite samples) and Ti (fig.4) that is characteristic of the subduction-related magmatism in the active continental margins (e.g., Taylor and McLennan, 1985; Sun and McDonough 1989; Pearce and Peate, 1995). With the exception of LILEs, the content of almost all the trace elements is around one order lower in the plagiogranites compared to granite-gneisses and tonalite series. In the plagiogranites are observed expressed P (not always) and Zr positive anomalies.

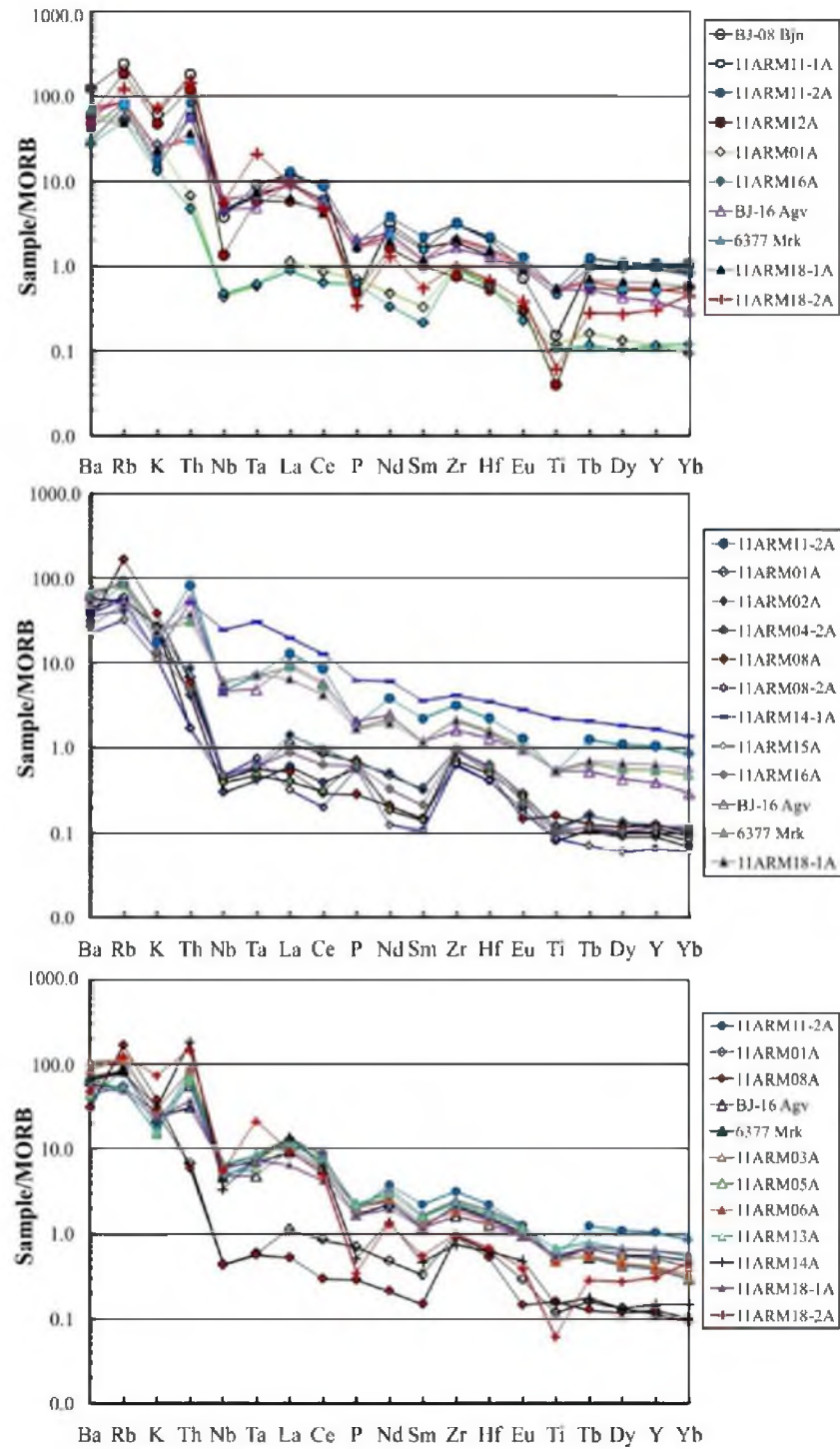


Fig.4. N-MORB normalized (Sun and McDonough, 1989) spider diagrams for studied various aged granitoid. K, P and Ti values are after XRF analyses. sample name description and ages are brought in the table 2.

Some differentiation (discrimination) diagrams have been proposed to determine the tectonic settings of granitoids (e.g., Pearce et al., 1984), though Frost et al. (2001) believed that trace element compositions of granitoids are a function of the sources and crystallization history of the melt, and the tectonic environment is secondary. Nevertheless, according to those discrimination diagrams all studied samples plot in volcanic arc granite (VAG- type) field (fig.5). In Ta–Yb diagram two leucogranites (pinkish granites of second phase) of Upper Jurassic plot in syn-collisional (Syn-COLG) field. The only exception is the Nb vs. Y diagram, where the Syn-COLG and VAG fields are not delimited. In general, these three groups of rocks are not distinct in terms of their geochemical signature.

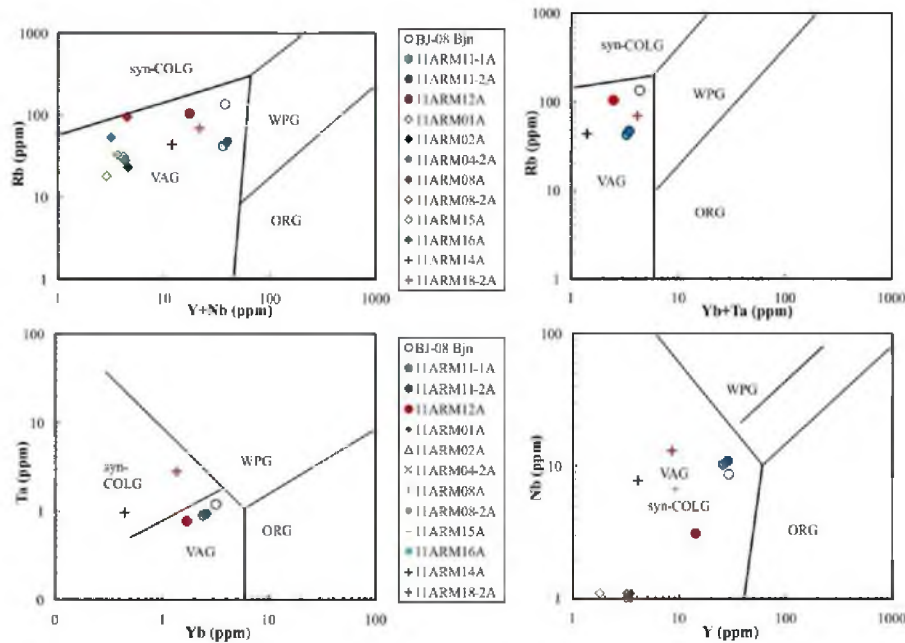


Fig.5. The tectonic discrimination diagrams: (a) Rb vs. (Y+Nb), (b) Rb vs. (Yb+Ta), (c) Ta vs. Yb, and (d) Nb vs. Y, for different age granitic rocks (after Pearce *et al.* 1984).

Rare earth elements (REE) distribution in the studied rocks also indicates different levels of their content (table 2). Accordingly, the poorest are the plagiogranites ($\Sigma\text{REE} = 5\text{-}19\text{ppm}$), while in the granite-gneisses and tonalite series the REE sums are comparable, 76-157ppm and 81-143ppm, respectively. However, their Chondrite-normalized REE spectra remain parallel to each other, and moderately light-REE (LREE) enrichment is obvious (fig. 6). The significant enrichment of LREE compared with the medium-REE (MREE) ((La/Sm) $n = 5\text{-}18$) and heavy-REE (HREE) ((La/Yb) $n = 7\text{-}22$, rarely 53 in a granite-aplite) is characteristic for tonalite series, while the same ratios in granite-gneisses (3.5-4.5 and 6-9) and plagiogranites (2-3 and 3-8) are comparable. Though all studied samples are with LREE > HREE, marked negative and positive Eu anomalies are characteristic for granitic gneisses

($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.4\text{--}0.7$) and plagiogranites ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 1\text{--}2$), respectively, with almost no Eu anomalies ($\text{Eu}/\text{Eu}^* \sim 1$) in tonalites (fig.6).

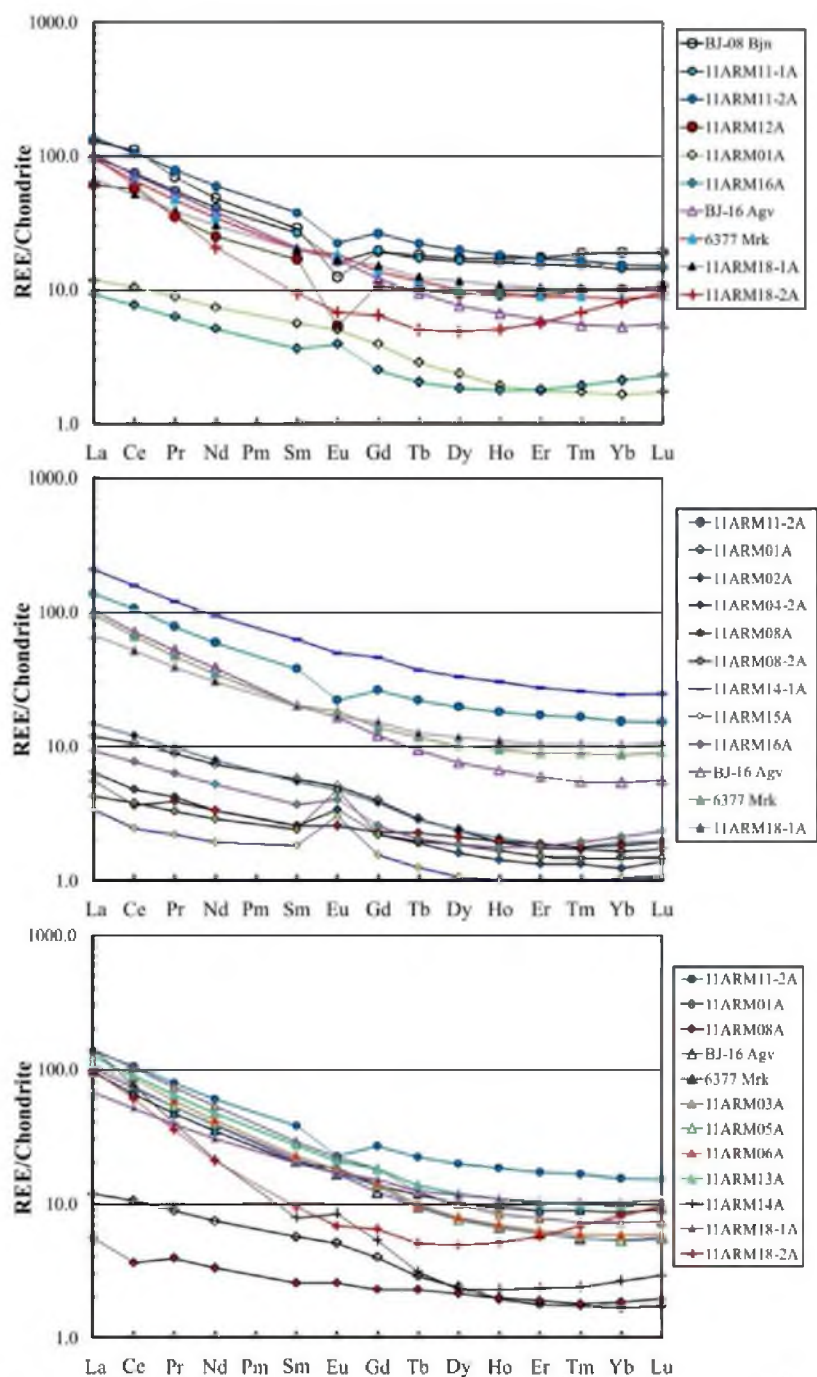


Fig.6. Chondrite-normalized (Sun and McDonough, 1989) spider diagrams for studied various aged granitoid. Sample name description and ages are brought in the table 2.

Discussion

The research relevance is conditioned by the use of modern scientific-theoretical methods and analytical possibilities to obtain the newest and reliable geochemical data and U-Pb isotopic ages, which were mostly absent in previous studies. These are necessary, especially, for elucidation of geological evolution, lithology and tectono-stratigraphy of the Precambrian-Paleozoic metamorphic soles cropping out within the micro-continent in the Arabian and Eurasian plates collision zone.

According to field observations and geological maps, except granitoid massifs emplacement into the SAM's crust, there are no clear indications about the (southward) subduction process among the available data during Late Neoproterozoic or Late Paleozoic, while both plutonic and volcanic activity confirms subduction regime under Tsaghkunyats continental massif during at least Middle-Late Jurassic, lasting up to Early Cretaceous.

It is known that granitic melts can result as from partial fusion of continental crustal rocks in low pressure conditions, as well as from extensive fractional crystallization of basaltic magma that derived from the partial melting of mantle peridotites. The experimental studies have shown that melting of metasedimentary rocks generates also peraluminous silica-rich melts (Patino Douce and Harris, 1998). However, in this paper, we will limit the discussion of petrological and especially granitic magma petrogenesis issues that need additional and detailed research. Below two subsections the timing of granitoid magmatism and the tectonic implication in a regional context are discussed.

Regional comparisons and magmatism age constraints.

Before the advent and adoption of Plate tectonics theory all geological problems of the Lesser Caucasus were compared/parallelized, analyzed and discussed with those of the Greater Caucasus. These were widely used in the works of all or by the majority of previous researchers, up to the 1980s. Meanwhile, comparisons with lateral, regional geological units (in Anatolia and Iran) and geo-events are more effective and informative at present. Zircon age dating has shown that there are two different magmatic series in Dzirula Massif of Georgia: (1) the older Lower Cambrian mostly of tonalitic composition, and (2) the younger (~ 330Ma, corresponding to Variscan orogenic phase) gabbro-diorite series, with mostly tonalite-granodiorite type of rocks (Mayringer et al., 2011).

The U-Pb dating has revealed that the crystalline basement of the Sanandaj-Sirjan, the Central Iran and the Alborz terranes (blocks or zones) in Iran consists of the continental parts of Gondwanan origin, which are characterized by a wide spread of subduction related granite-granodiorite intrusions of Late Neoproterozoic–Early Cambrian (average 550Ma) period (Hassanzadeh et al., 2008). According them, an active Peri-Gondwanan continental margin best explains the distribution of these granitoids in Iran. Balaghi Einalou et al.

(2014) and Moghadam et al. (2016), who studied upper Neoproterozoic granites and granite-gneisses in the Biarmid region of Central Iran, came to a similar conclusion on the ages (i.e. Late Ediacaran and Early Cambrian) and the geodynamic setting of Central Iran as a *continental magmatic arc*. Besides, new zircon U-Pb ages of granitoids from NW Sanandaj-Sirjan (Marand area) and Central Iran (Saghand area) showed Late Neoproterozoic (565-556Ma) and Early-Middle Cambrian (518-510Ma) intervals, respectively (Chiu et al., 2017). Let's briefly mention that according to Lechmann et al. (2018) these two Precambrian terranes were separated from each other by a continental rifting that is reflected in a dioritic-granitic magmatism in Khoy area during Late Jurassic (159-154Ma).

In Turkey, Central Anatolian Crystalline Complex (CACC, known also Kırsehir Massif) is a large region of metamorphic rocks (gneisses, schists, marbles, quartzites, etc.), cut by the Upper Cretaceous granites (isotope ages 95-70Ma; Okay, 2008 and references therein). The Menderes Massif consists of a Precambrian core of micaschists, gneiss and minor granulite and eclogite, which are intruded by large metagranites of latest Precambrian ages (~550Ma) (Candan et al., 2001). In the Precambrian basement of the Bitlis Massif (south-west of Lake Van), as a part of the Taurides-Anatolides, again the metamorphic rocks (gneiss, amphibolite, schist and eclogite) are intruded with leucocratic granitoids (Okay, 2008), but we have no ages (?). U-Pb zircon dating of the Mutki granite from Bitlis Massif and a nearby granitic dyke yielded crystallization ages of 545.5 ± 6.1 Ma and 531.4 ± 3.6 Ma, respectively (Ustaömer et al., 2009). Besides, in the Karacahisar dome in the southern-central Taurides, the intrusion of dacitic dyke swarms yielded a U-Pb zircon age of 544 ± 4 Ma, coeval with the magmatism in other Cadomian basement units in the Taurides (e.g., Sandıklı and Menderes massif; Abbo et al., 2015).

At the Strandja Massif in the southern Balkans (NW Turkey) the Variscan crystalline basement, made up of predominantly quartz-feldspathic gneisses, is intruded by Late Carboniferous and Early Permian (257 ± 6 Ma) granitoids (Sunal et al., 2006). Although Permian ages coincide well with our results, those granites are distinguished for their high content of K-feldspars (35-45%), unlike our plagiogranites. Besides, Permo-Carboniferous granitoids with Jurassic high temperature metamorphism are described also in Central Pontides of Northern Turkey with U-Pb zircon ages of 316-252Ma (Gücer et al., 2016). According to these authors, this calc-alkaline arc-type granitoid magmatism resulted from the *northward subduction* of Paleotethys oceanic lithosphere under Laurasia.

Recently, Candan et al. (2016) showed the presence of Carboniferous (331-315Ma, U-Pb method) metagranite plutons in the Afyon zone, at the northern margin of the Anatolide-Tauride Block, which is made up of the latest Neoproterozoic to Late Cretaceous units. Petrographically these are normal (sub-alkaline) granites with the predominance of K-feldspar (~45%), and geochemical characteristics argued their subduction origin in a continental arc setting.

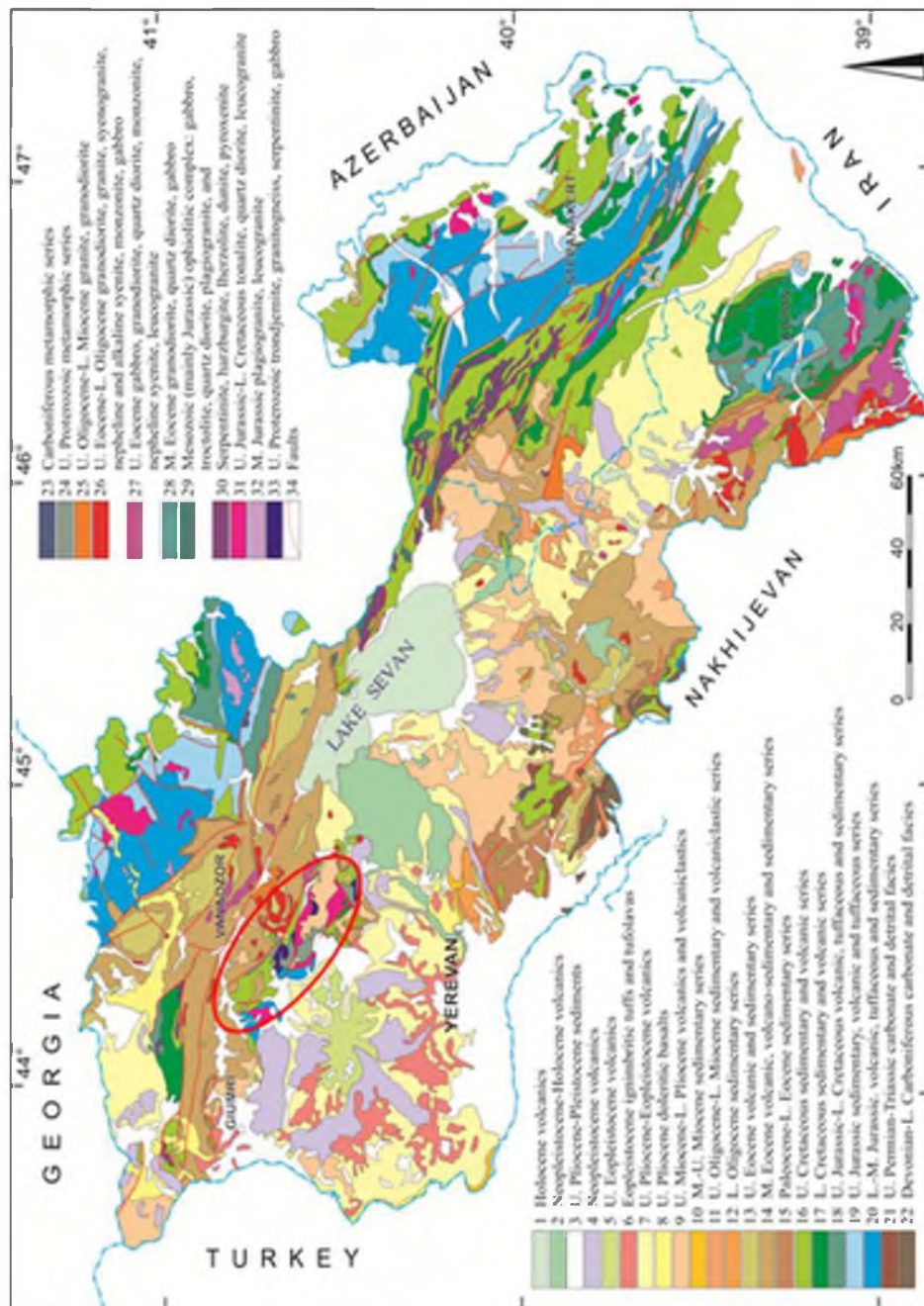


Fig.1. Schematic geological map of Republics of Armenia and Karabagh after (National Atlas of Armenia, 2007, pp. 26-27), modified by Gh. Galoyan. Red circle corresponds to the study area (fig.2).

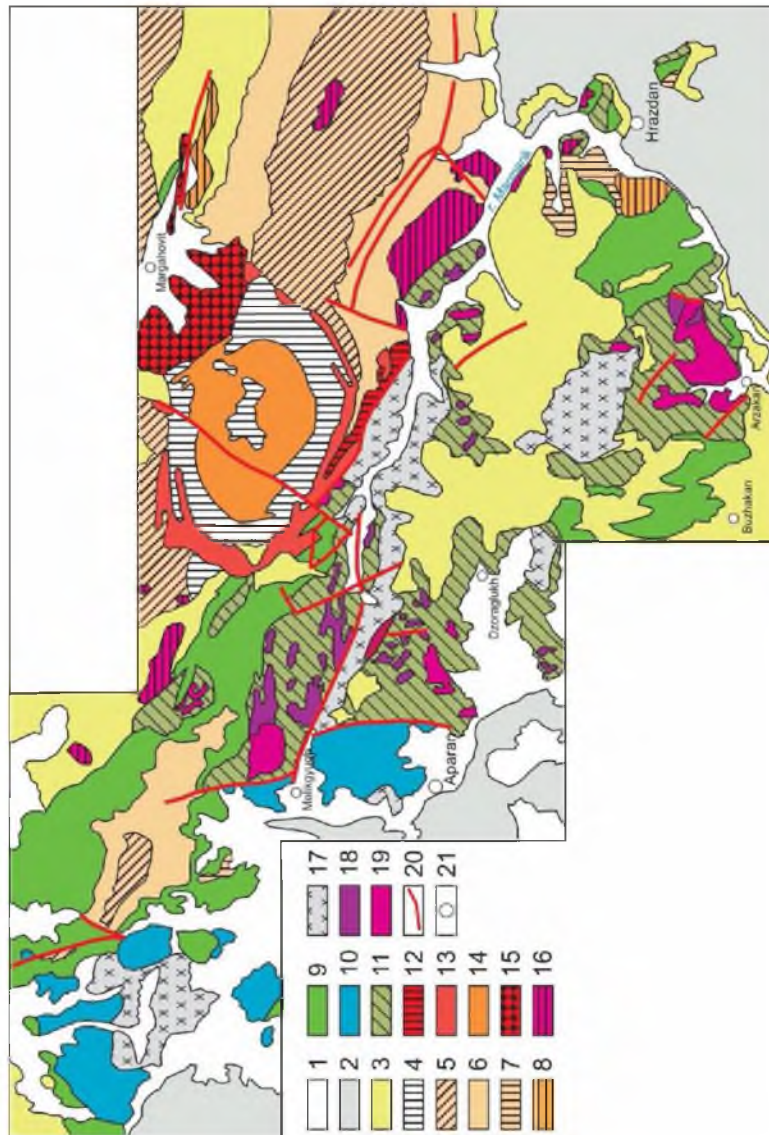


Fig.2. Schematized geological map of Tsaghkunyats anticlinorium after Arakelyan (1973), modified by Galoyan. Note: 1 - Quaternary deposits; 2 - Quaternary basalts, basaltic andesites and tuffs; 3 - Miocene-Pliocene various andesites, rhyolites, breccias and tuffs; 4 - Upper Eocene trachyandesites, trachydacites, leucite porphyries; 5 - Upper Eocene basalts, andesites, rhyolites, pyroclastics; 6 - Middle Eocene basalts, andesites, dacites, rhyolites, tuffs, tuffites, sandstones; 7 - Lower-Middle Eocene conglomerates, limestones, sandstones, basalts, andesites, dacites; 8 - Paleocene-Lower Eocene limestones and marls; 9 - Upper Cretaceous conglomerates, sandstones, marls, limestones and shales; 10 - Middle Jurassic (?) or Upper Paleozoic (?) pillow basalts and andesitic series; 11 - Upper Proterozoic-Lower Paleozoic (?) metamorphic complex; Upper Eocene intrusions (12-16): 12 - porphyric granites; 13 - alkaline syenites; 14 - pseudoleucite and nepheline syenites; 15 - porphyric granosyenites; 16 - monzonites, quartz monzonites and syenites, diorites, granodiorites; 17 - Upper Jurassic tonalite formation; 18 - Middle-Upper Permian plagiogranites; 19 - Neoproterozoic-Lower Cambrian granite-gneiss; 20 - faults; 21 - settlements.

The geochemical signatures of Guegharot, Mirak, Hankavan and Aghveran tonalite intrusions from the present study are similar to those of tonalites from intrusions of Jurassic Somkheto-Karabagh belt (Galoyan et al., 2013, 2018), whose subductive nature is no longer in doubt. Given the assumption that these intrusions are part of the Spitak-Kapan zone of Galoyan et al. (2013), the rejuvenation of the age of intrusion(s) of tonalite formation is noticed towards the south-east, i.e. in Kapan area. Here the rocks of voluminous Tsav pluton yielded Lower Cretaceous zircon U-Pb ages (~138-130Ma; Mederer et al., 2013 and Melkonyan et al., 2016), which is the result of subduction-related magmatism as well.

Being composed of Precambrian various metamorphic rocks sequences (mainly with the terrigenous protoliths) and intruded by Late Ediacaran–Early Cambrian granitic rocks, the Tsaghkunyats basement resembles other Cadomian terranes in the region, including those in Iran and Turkey. Thus, it is evident that studied oldest (from Precambrian to the Early Cretaceous) granitoid intrusions are one of the most commonly occurring plutonic formations in our region, and the problem of their petrologic and geodynamic synthesis (comparison) and the geochronological generalization remains one of the most important in the regional context.

Issues concerning to the regional geodynamic setting.

From the point of view of petrologic issues and, in particular, of geodynamics the granitoid formations (similarly to basalts) have extremely important significance. The geodynamic evolution of Eastern Pontides–Lesser Caucasus–Iran orogenic belt remains a subject of debates mainly because of the rarity or often absence of systematized geological, geochemical, and thoroughly geochronological data on various geological formations, and especially, on the abundant magmatic complexes. Additionally, the reconstruction of history of the geodynamic evolution of any region, based on the analysis of its magmatism, is one of the most effective methods. Taking into consideration the geochemical features of studied granitoid intrusions, it is obvious that the majority of features assigned them to the *subduction-related* tectonic settings.

Though it is commonly assumed that Tsaghkunyats crystalline massif is a part of the South-Armenian micro-continent (microplate or block), as a *basement* of Caledonian consolidation, nevertheless, the view remains unjustified. This has already been mentioned also in (Sosson et al., 2010). The problem is caused, on one hand, by the buried boundary of the crystalline massif or core (?) complex along with the Upper Paleozoic carbonate shelf formations from its south, and, on the other hand, by the rarity or absence of reliable and modern deep geophysical (e.g., seismic reflection, gravity and magnetic anomalies, and seismic tomography) research data. Similarly, Kırşehir Massif (or CACC) in Turkey is an extensive terrane, represented by metamorphic and plutonic rocks of the Upper Cretaceous, and the question of whether it belongs to Anatolides–Taurides is still controversial (e.g., Okay, 2008).

In last two (or three) decades, there is no deficiency of schemes and models regarding to the tectonic evolution of the Lesser Caucasus during Jurassic (e.g., Melkonyan et al., 2000; Galoyan et al., 2009, 2013, 2018; Rolland et al., 2009; Sosson et al., 2010; Mederer et al., 2013; Hassig et al., 2015). However, the same can't be said about the geological situations and processes that existed before Jurassic, though these issues have also been addressed in several studies (e.g., Aghamalyan, 2004; Gamkrelidze and Shengelia, 2007; Rolland, 2017). Here, uncertainties are much more than clarities. Finally, it is difficult to achieve a realistic solution to the problem based only on (1) the study of the Tsaghkunyats anticlinorium (or crystalline basement) or (2) the granitoid intrusions emplaced therein. In this sense, regional comparisons and synthesis are inevitable on the way of finding explanations that are more logical and realistic.

From the above-mentioned (section 6.1) age data follows that there is no doubt about the long extended (~45Ma) Andean-type subduction of the Prototethys beneath the northern margin of Gondwana, which produced the massive Cadomian arc-type magmatism during the Late Neoproterozoic to Early Cambrian exposed in Turkey (Candan et al., 2001; Ustaömer et al., 2009), southern Georgia (Zakariadze et al., 2007), Iran (Ramezani and Tucker, 2003; Hassanzadeh et al., 2008; Balaghi Einalou et al., 2014; Moghadam et al., 2015, 2016; Chiu et al., 2017) and Armenia (this study). Moreover, the Cadomian belt stretches from Iberia through central and southeast Europe into Turkey and Iran and may continue into the Qingtang terrane of Tibet (Moghadam et al., 2016 and references therein). This subduction is suggested to have ceased around 450–400 Ma, due to continental or oceanic plateau collision (Ustaömer et al., 2009), while this time interval coincides to the opening (rifting) of Paleotethys Ocean corresponding to Iranian part of Gondwana (reconstruction in Moghadam et al., 2015).

“Mystery” of the Paleotethys Ocean. Location of the suture line of Paleotethys Ocean in the Caucasus has been debated for a long time. According to Gamkrelidze and Shengelia (2007), this line sits between the Black Sea-Central Transcaucasian and Baiburt-Sevanian (corresponds to Eastern Pontides-Lesser Caucasus belt of others) terranes, i.e., along the northern periphery of the Somkheto-Karabagh belt (a *sub-terrane* according them). They supposed the existence of serpentinite mélangé in the eastern periphery of the Loki Massif (southern Georgia) as an ophiolite suture, and considered the existence of the Proto-Paleotethys basin to be continuous until the Late Jurassic. Based on their original results and critical analysis of literature data, Galoyan et al. (2018) suggested a south-dipping subduction model in the Paleotethyan ocean, which have led to formation of the Somkheto-Karabagh island(?) -arc (i.e. ensimatic) structure and to the opening of Lesser Caucasian Neotethyan rear basin corresponding contemporary Amasia-Sevan-Hakari suture zone (Galoyan and Melkonyan, 2011).

Aghamalyan (2004) presented a model covering the longest period from mid-Proterozoic to Quaternary for this region. According to his reconstruction,

Paleotethys inherited from Prototethys that functioned between Proto-Africa and Laurentia continental masses. However, this model can't work anymore for the simple reason that the ages of granite-gneisses and, especially, plagiogranites were "exaggerated" (see section 3), while the geodynamic interpretations, in the early stages of the Caucasian earth's crust formation, were based on these timing.

Similarly, the possible location or existence of the Paleotethys suture in Turkey has been the subjects of a long-lasting debate (e.g., Şen, 2007; Dokuz et al., 2017; Candan et al., 2016 and references therein). Moreover, the tectonic setting of the northern continental margin of Gondwana during the late Paleozoic remains controversial (Candan et al., 2016 and references therein). It is especially about the issues of active or passive nature of continental margin and the polarity of Paleotethys subduction. Based on original results of widespread Early to mid-Carboniferous metagranites from the Afyon zone and the analysis of a large amount of literature data (for a review see Candan et al., 2016), these authors concluded that the presence of Carboniferous subduction-accretion complexes and arc-type (meta)granites on the northern margin of the Anatolide-Tauride Block suggest southward subduction of Paleotethys under Gondwana. Besides, they concluded that these granites are not related to the Variscan orogenic event that was characteristic to the southern margin of Laurasia. Dissimilarly, in their preferred southward subduction model of Dokuz et al. (2017), the Paleotethys Ocean was to the north of Sakarya zone (or Pontides) constituting a part of the northern margin of Gondwana. According to them, starting from Permian the subduction resulted to the back-arc extension and breaking up of the Sakarya zone from Gondwana in the Late Triassic and closing the Paleotethys ocean during the Late Jurassic. Similarly, to the opinion of Gamkrelidze and Shengeba (2007) for Caucasus, these authors "located" the Paleotethys suture along the northern border of Sakarya zone.

On the basis of a review of geological data from the literature from NE Anatolia, Caucasus and NW Iran, a reconstruction of the evolution of the Eurasian margin from Proterozoic to the present was proposed by Rolland (2017). According to him, the Pontides-Transcaucasus belt, as an elongated continental tectonic block, rifted away from the NE margin of Gondwana between 450-350Ma (e.g., Adamia et al., 2011), leading to further opening of Paleotethys as a consequence of the southward subduction of Rheic Ocean lithosphere. Similarly, in their tectonic model Okay and Nikishin (2015) suggested the southward subduction of Rheic Ocean under a ribbon-shaped continental block (including Rhodope, Sakarya Zone and Caucasus) that led to development of a *continental arc* and the Late Carboniferous collision of it with the southern margin of Laurasia. On the contrary, Dokuz et al. (2011) proposed Early Devonian rifting and Paleotethys opening as a result of northward subduction of the Rheic Ocean below Laurasia. Putting the existing opinions together, Candan et al. (2016) came to a view that the geological evidence favors dual subduction both under Laurasia and Gondwana for the Paleotethys during Late Paleozoic. Because we have already put forward the idea of a

tectonic model of southward subduction (Galoyan et al., 2019), therefore Paleotethyan southern subduction under Anatolide-Tauride Block of Early-Late Carboniferous (331-315Ma; Candan et al. 2016) could have continued very likely in the east under SAM during Middle-Late Permian (270-250Ma and earlier, this study). Moreover, in the current context of scientific information, we cannot exclude the view of Zakariadze et al. (2007) that Transcaucasian Massif underwent a period of extensive crustal growth during 330–280Ma through the emplacement of microcline granite plutons as part of a magmatic arc system above a Paleotethyan northward subduction zone dipping beneath the southern margin of Eurasia.

For the Caucasus, Khain (1975) assumed the first that closure of Tethys (Meso- or Neo-) during Jurassic-Early Cretaceous occurred as a result of dual subduction: (1) to the north, under the Artvin(Somkheto)-Karabagh zone and (2) to the south, under the Kapan zone; about latter testify the volcanism of Kapan zone and the granitoid intrusions of the Jurassic-Early Cretaceous age of both Kapan zone and the Arzakan (i.e. Tsaghkunyats) massif. Analogous opinion, on the basis of the results of their own studies adhere also Zaseyev and Abramovich (1993) and Melkonyan et al. (2000). Without stopping on details or different aspects of the paleo-geodynamic reconstruction of the Lesser Caucasus during Mesozoic, to which are recently devoted many special studies (e.g., Galoyan et al., 2009, 2013, 2018; Rolland et al., 2009; Sosson et al., 2010; Mederer et al., 2013; Hässig et al., 2013, 2015; and references therein), let us note that only fewer (Galoyan et al., 2013; Melkonyan et al., 2016) proposed to consider the Kapan block as an independent structure from the Somkheto-Karabagh belt. Moreover, Galoyan et al. (2013) considered the second belt (zone) of subduction origin to the south of Armenian ophiolite belt and, on the basis of its geographical position, named it *Spitak-Kapan* zone of Jurassic-Cretaceous. It should be noted that views of the southward subduction of Northern Neotethys lithosphere beneath the SAM (Hässig et al., 2015) or the Spitak-Kapan zone (Galoyan et al., 2018) are also well-reasoned in Middle-Late Jurassic. In all mentioned other (also previously proposed) tectonic models, this segment is represented as a *passive margin* of Tethys.

Thus, the new petrologic-geochemical studies and U-Pb isotope age dating of the older granitoids on the boundaries of the Tsaghkunyats antichlorium will facilitate and clarify our understanding about the whole Anatolia–Lesser Caucasus–Iran orogenic belt. In case of successful and complex works in the near future, the geographical-tectonic position of the Tsaghkunyats crystalline basement towards both the Late Paleozoic terrigenous carbonate shelf of the SAM (from south) and the Lesser Caucasus ophiolitic basin (i.e., Paleo- or Neotethys, from the north) can be clarified during the Jurassic and preceding periods.

Conclusion

This study is presenting general geological, new petrologic-geochemical and zircon U-Pb geochronological data on the older granitoids from Tsaghkunyats antichthonium or crystalline basement comprising present day Central-Northern Armenia. It provides age precisions about the Precambrian and Late Jurassic magmatic events and new constraints on the Late Paleozoic (Permian) magmatic activity in SAM that has not previously been reported. Thus, obtained new U-Pb zircon crystallization ages are ranging from Late Neoproterozoic (Late Ediacaran) to Early Cambrian (~545-530Ma) for the granitic gneisses; from Middle to Late Permian (~270-250Ma) for the plagiogranites; and from Late Jurassic to Early Cretaceous (~155-140Ma) for the tonalite formation rocks. Deformation traces are present only in granite-gneisses as a result of regional metamorphism.

We also present new constraints on a regional scale for the geodynamic evolution of the northern margin of SAM as a part of Gondwana. Namely, Andean-type subduction of the Prototethys beneath the northern margin of Gondwana produced the massive Cadomian arc-type magmatism during the Late Neoproterozoic to Early Cambrian exposed in Turkey, southern Georgia, Iran and Armenia, etc.

Geochemically, Middle-Upper Permian granitic rocks have features that are partially different (poor content of REE) from those of Precambrian and Mesozoic granitoids. All these various aged granitoids are calc-alkaline, peraluminous and are characterized by enrichment of LILEs and Th, with pronounced minimums of Nb-Ta and Ti, and high LREE/HREE ratios which are typical of subduction-related magmas. As for the geodynamic setting, all studied granitoids are arc-type and their presence may suggest *southward subduction* events of Proto-Paleo-, and Neotethys oceans under SAM of Gondwana during above-mentioned time intervals.

Acknowledgements

This study was supported by the Committee of Science of Ministry of ESCS of RA, in the frames of the research project No: 18T-1E227 and resulted from the collaboration between Institute of Geological Sciences of NAS of Armenia and National Taiwan and National Chung-Cheng Universities of Taiwan. We thank to reviewer for constructive review and helpful suggestions of this paper.

References

- Abbo A., Avigad D., Gerdes A., Güngör T. 2015. Cadomian basement and Paleozoic to Triassic siliciclastics of the Taurides (Karacahisar dome, south-central Turkey): Paleogeographic constraints from U-Pb-Hf in zircons. *Lithos* 227, p.122–139.
- Adamia Sh., Zakariadze G., Chkhotua T., Sadraze N., Tsereteli N., Chabukiani A., Gventsadze A. 2011. Geology of the Caucasus: a review. *Turkish Journal of Earth Sciences* p.20, 611–628.

- Aghamalyan V.A.** 1987. The Armenian SSR Tzaghkuniats mountain range Mesozoic accretion complex (Aparan series). Proceedings of the Academy of Sciences of the ArmSSR, Earth Sciences, No.2, p.13–24. (in Russian, with Eng. abstract)
- Aghamalyan V.A.** 1998. The crystalline basement of Armenia. Dissertation of doctor of geol. sci., Institute of Geological Sciences, NAS RA. Yerevan, 457p. (in Russian)
- Aghamalyan V. A.** 2004. Formation and evolution of the Earth's crust of Lesser Caucasus in the collision zone of Paleo-Tethys passive and active margins. Proceedings of the Geological Institute of the Georgian Academy of Sciences. Issue 119, p.46–53. (in Russian, with Eng. abstract)
- Aghamalyan V.A., Ohukasyan Kh.R., Baghdasaryan G.P.** 1997. The Pre-Cambrian trondhjemite formation of Armenia. Proceedings NAS RA, Earth Sciences, No.5, p.12–21. (in Russian, with Eng. abstract)
- Arakelyan R.A.** 1957. Stratigraphy of the ancient metamorphic complex of Armenia. Proceedings of the Academy of Sciences of Armenian SSR. Geological and Geographical sciences series, 10 (5-6). p.3–16. (in Russian)
- Arakelyan R.A.** 1959. History of the Lower Paleozoic magmatism of Armenia. Notes of the Armenian section WMO, issue 1, p.21–28. (in Russian)
- Aslanyan A.T.** 1958. Regional geology of Armenia. Publishing house: «Haipethrat», Yerevan, 430p. (in Russian)
- Baghdasaryan G.P., Ohukasyan R.Kh.** 1961. On the age of Paleozoic intrusions of the Armenian SSR. Proceedings of the Academy of Sciences of the ArmSSR, Geol. and geogr. sciences series, No.4, p.23–36. (in Russian)
- Baghdasaryan G.P. Ohukasyan R.Kh.** 1983. The age of Bjni migmatite-granitic massif (By the Rb-Sr isochrone radiometric data and geological ideas). Proceedings of the Academy of Sciences of the ArmSSR, Earth Sciences, No.6, p.15–29. (in Russian, with Eng. abstract)
- Baghdasaryan G.P., Ohukasyan R.Kh.** 1985. Geochronology of magmatic, metamorphic and ore formations of the Armenian SSR. Ed: Academy of Sciences of the ArmSSR, Yerevan, 294p. (in Russian)
- Baghdasaryan G.P., Ohukasyan R.Kh.** 1990. Brief resultative data on the isotope age determination of the Gegharkot granitoid massif by K-Ar and Rb-Sr isochronous methods. Proceedings of the Academy of Sciences of the ArmSSR, Earth Sciences, No.1, p.11–16. (in Russian, with Eng. abstract)
- Balaghi Einalou M., Sadeghian M., Zhai M., Ghasemi H. and Mohajjel M.** 2014. Zircon U–Pb ages, Hf isotopes and geochemistry of the schists, gneisses and granites in Delbar Metamorphic-Igneous Complex, SE of Shahrood (Iran): Implications for Neoproterozoic geodynamic evolutions of Central Iran: Journal of Asian Earth Sciences, v. 92, p.92–124.
- Belov A.A., Sokolov S.D.** 1973. Rehearsal of the Mesozoic oceanic crust among the crystalline complexes of the Miskhana massif of Armenia. Soviet geology, No.8, p.26–41. (in Russian)
- Candan O., Dora Ö.O., Oberhänsli R., Cetinkaplan M., Partzsch J.H., Warkus F.C. and Dürr S.** 2001. Pan-African high-pressure metamorphism in the Precambrian basement of the Menderes Massif, Western Anatolia, Turkey. International Journal Earth Sciences 89, p.793–807.
- Candan O., Akal C., Koralay O.E., Okay A.I., Oberhänsli R., Prelević D., Mertz-Kraus R.** 2016. Carboniferous granites on the northern margin of Gondwana, Anatolide-Tauride Block, Turkey – Evidence for southward subduction of Paleotethys. Tectonophysics 683, p.349–366.
- Chibukhchyan Z.H.** 1985. Intrusive complexes of the Arzakan Crystalline massif. Publishing house: Academy of Sciences of the ArmSSR, Yerevan, 184p. (in Russian)
- Chiu H.-Y., Chung S.-L., Wu F.-Y., Liu D., Liang Y.-H., Lin I.-J., Iizuka Y., Xie L.-W., Wang Y., Chu M.-F.** 2009. Zircon U-Pb and Hf isotopic constraints from eastern Transhimalayan batholiths on the precollisional magmatic and tectonic evolution in southern Tibet. Tectonophysics 477, p.3–19.
- Chiu H.-Y., Chung S.-L., Zarrinkoub M.H., Melkonyan R., Pang K.-N., Lee H.-Y., Wang K.L., Mohammedi S.S., Khatib M.M.** 2017. Zircon Hf isotopic constraints on magmatic and tectonic evolution in Iran: Implications for crustal growth in the Tethyan orogenic belt. Journal of Asian earth Sciences 145, p.652–669.
- Dokuz A., Uysal I., Kahwoda M., Karsli O., Ottley C.J., Kandemir R.** 2011. Early abyssal and late SSZ-type vestiges of the Rheic oceanic mantle in the Variscan basement of the Sakarya Zone, NE Turkey: implications for the sense of subduction and opening of the Paleotethys. Lithos 127, p.176–191.

- Dokuz A., Aydınçakir E., Kandemir R., Karšli O., Siebel W., Derman A.S. and Turan M.** 2017. Late Jurassic magmatism and stratigraphy in the Eastern Sakarya zone, Turkey: Evidence for the slab breakoff of Paleotethyan oceanic lithosphere. *The Journal of Geology* 125, No.1, p.1–31.
- Frost B.R., Barnes C.G., Collins W.J., Arculus R.J., Ellis D.J., Frost C.D.** 2001. A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology* 42, No.11, 2033–2048.
- Frost B.R. and Frost C.D.** 2008. A geochemical classification for feldspathic igneous rocks. *Journal of Petrology* 49, No.11, p.1955–1969.
- Gabrielyan A.H.** 1974. Geotectonic zoning of the territory of the Armenian SSR. *Proceedings of the Academy of Sciences of the ArmSSR, Earth Sciences*, No.4, p.3–21. (in Russian)
- Gabrielyan A.H., Adamyan A.I., Hakopyan V.T., Arzumanyan S.K., Vehuni A.T., Sarkisyan H.H., Simonyan G.P.** 1968. Tectonic map and map of intrusive formations of the Armenian SSR. Publishing house: «Mitk», 73p. (in Russian)
- Galoyan Gh.L., Melkonyan R.L.** 2011. Ophiolitic association. In the book: “Geology and the mineral resources of Mountainous-Karabagh Republic”. Yerevan: Publishing house “Zangak-97”, p.99–112. (in Russian)
- Galoyan Gh., Rolland Y., Sosson M., Corsini M., Billo S., Verati C., Melkonyan R.** 2009. Geology, geochemistry and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of Sevan ophiolites (Lesser Caucasus, Armenia): Evidence for Jurassic Back-arc opening and hot spot event between the South Armenian Block and Eurasia. *Journal of Asian Earth Sciences* 34, Issue 2, p.135–153.
- Galoyan Gh.L., Melkonyan R.L., Chung S.-L., Khorenyan R.H., Atayan L.S., Hung C.-H., Amiraghyan S.V.** 2013. To the petrology and geochemistry of Jurassic island-arc magmatics of the Karabagh segment of the Somkheto-Karabagh terrain. *Proceedings NAS RA, Earth Sciences*, v. 66, No.1, p.3–22. (in Russian, with Eng. abstract)
- Galoyan Gh.L., Melkonyan R.L., Atayan L.S., Chung S.-L., Khorenyan R.H., Lee Y.-H., Amiraghyan S.V.** 2018. On the petrology and geochemistry of Jurassic magmatics of the Somkheto segment of Somkheto-Karabagh tectonic zone (Northern Armenia). *Proceedings NAS RA, Earth Sciences*, v.71, No.1, p.3–27.
- Galoyan Gh., Chung S.-L., Melkonyan R., Lee Y.-H., Atayan L., Khorenyan R., Grigoryan A., Avagyan N.** 2019. Neoproterozoic-Early Cambrian, Late Paleozoic and Late Jurassic granitoid magmatism on the Northern margin of Gondwana, Tsaghkunyats anticlinorium of Lesser Caucasus, Central-Northern Armenia. *Goldschmidt 2019, Spain, Barcelona*, 18-23 August. Abstract, p.8.
- Gamkrehdze I.P., Shengeha D.M.** 2007. Pre-Alpine Geodynamics of the Caucasus, suprasubduction regional metamorphism and granitoid magmatism. *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences* 175, No.1, p.57–65.
- Geology of the Armenian SSR, 1966. Volume III, Petrography, intrusive rocks. Publishing house: AS of the Armenian SSR, Yerevan, 497p. (in Russian)
- Grigoryan A.G.** 2014. The first finds of fauna (conodonts) in the olistoliths of limestones of the Melikgyugh member in the section of volcanogenic-sedimentary deposits of the Aparan series. In: Collection of articles of a scientific conference dedicated to the 70th anniversary of the memory of Assoc. Prof. E.Kh. Kharazyan. Yerevan State University, p.184–188. (in Russian)
- Güçer M.A., Arslan M., Sherlock S., Heaman L.M.** 2016. Permo-Carboniferous granitoids with Jurassic high temperature metamorphism in Central Pontides, Northern Turkey. *Miner Petrol* 110, p.943–964.
- Hassanzadeh J., Stockli D.F., Horton B.K., Axen G.J., Stockli L.D., Grove M., Schmitt A.K., Walker J.D.** 2008. U-Pb zircon geochronology of late Neoproterozoic–Early Cambrian granitoids in Iran: Implications for paleogeography, magmatism, and exhumation history of Iranian basement. *Tectonophysics* 451, p.71–96.
- Hässig M., Rolland Y., Sosson M., Galoyan Gh., Muller C., Avagyan A., Sahakyan L.** 2013. New structural and petrological data on the Amasia ophiolites (NW Sevan-Akera suture zone, Lesser Caucasus): insights for a large-scale obduction in Armenia and NE Turkey. *Tectonophysics* 588, p.135–153.
- Hässig M., Rolland Y., Sahakyan L., Sosson M., Galoyan Gh., Avagyan A., Bosch D., Muller C.** 2015. Multi-stage metamorphism in the South Armenian Block during the Late Jurassic to Early Cretaceous: Tectonics over south-dipping subduction of Northern branch of Neotethys. *Journal of Asian Earth Sciences* 102, p.4–23.

- Irvine T.N. and Baragar W.R.A.** 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences* 8, p.523–548.
- Khain V.E.** 1975. The main stages of the tectonic-magmatic development of the Caucasus: an experience of geodynamic interpretation. *Geotectonics*, No.1, p.13–27. (in Russian)
- Khorenyan R.H.** 1982. Mesozoic magmatism of the Tsaghkunyats Range. Publishing house: Academy of Sciences of the ArmSSR, 141p. (in Russian)
- Knipper A.L., Khain E.V.** 1980. Structural position of ophiolites of the Caucasus. In: Rocci G. (ed.) *Ophioliti, Special Issue*, Vol 2, 297–314.
- Kotlyar V.N.** 1958. Pambak: geology, intrusions and metallogeny of the Pambak Range and adjacent regions of Armenia. Publishing house: AS ArmSSR, Yerevan, 228p. (in Russian)
- Lehmann A., Burg J.-P., Ulmer P., Mohammadi A., Guillong M., Faridi M.** 2018. From Jurassic rifting to Cretaceous subduction in NW Iranian Azerbaijan: geochronological and geochemical signals from granitoids. *Contributions to Mineralogy and Petrology* p.173:102.
- Le Maitre R.W., Bateman P., Dudek A., Keller J., Lameyre J., Le Bas M.J., Sabine P.A., Schmid R., Sorensen H., Streckeisen A., Woolley A.R., Zanettin B.** 1989. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK, 193p.
- Lorsabyan T.K.** 2013. Thermobaric conditions of the metamorphism of the Precambrian crystalline basement rocks of Armenia. Abstract of the dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of geol. sciences, Yerevan. 29p. (in Armenian)
- Magmatic and metamorphic formations of the Armenian SSR, 1981. Publishing house: Academy of Sciences of the ArmSSR, Yerevan, 331p. (in Russian)
- Mayringer F., Treloar P.J., Gerdes A., Finger F. and Shengelia D.** 2011. New age data from the Dzirmla massif, Georgia: implications for the evolution of the Caucasian Variscides. *American Journal of Science* 311(5), p.404–441.
- Mederer J., Moritz R., Ulianov A., Chiaradia M.** 2013. Middle Jurassic to Cenozoic evolution of arc magmatism during Neotethys subduction and arc-continent collision in the Kapan Zone, southern Armenia. *Lithos* 177, p.61–78.
- Melkonyan R.L., Khorenyan R.H., Chibukhchyan Z.H.** 2000. On the issue of the Mesozoic magmatism of the Tsaghkunk-Zangezur zone of the Lesser Caucasus. *Proceedings NAS RA, Earth Sciences*, No.3, p.17–29. (in Russian, with Eng. abstract)
- Melkonyan R.L., Chung S.-L., Ghukasyan R.Kh., Galoyan Gh.L., Khorenyan R.H., Atayan L.S.** 2016. The geology and isotope dating of the Tsav intrusive complex (Southern Armenia, Kapan terrain). *Proceedings NAS RA, Earth Sciences*, v.69, No.2, 3–23. (in Russian, with Eng. abstract)
- Moghadam H.S., Khademi M., Hu Z., Stern R.J., Santos J.F., Wu Y.** 2015. Cadomian (Ediacaran-Cambrian) arc magmatism in the ChanJam-Biarjmand metamorphic complex (Iran): Magmatism along the northern active margin of Gondwana. *Gondwana Research* 27, p.439–452.
- Moghadam H.S., Li X.-H., Stern R.J., Santos J.F., Ghorbani Gh., and Pourmohsen M.** 2016. Age and nature of 560–520 Ma calc-alkaline granitoids of Biarjmand, northeast Iran: insights into Cadomian arc magmatism in northern Gondwana. *International Geology Review*, DOI: 10.1080/00206814.2016.1166461
- National Atlas of Armenia, vol. A. Publishing house: “Tigran Mets”, Yerevan 2007, 232p. (in Armenian)
- Nazaryan H.E.** 1964. Geological structure of the Arzakan-Aparan crystalline massif. Abstract of the dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of geol.-min. sciences, Yerevan. (in Russian)
- O'Connor J.T.** 1965. A classification for quartz-rich igneous rocks based on feldspar ratios. *US Geol. Surv. Prof. Pap.* B525, p.79–84.
- Okay A.I.** 2008. Geology of Turkey: A Synopsis. *Anschnitt* 21, p.19–42.
- Okay A.I., Nikishin A.M.** 2015. Tectonic evolution of the southern margin of Laurasia in the Black Sea region. *Int. Geol. Rev.* <http://dx.doi.org/10.1080/00206814.2015.1010609>.
- Paffenholtz K.N.** 1959. Geological history of the Caucasus. Ed: AS ArmSSR, Yerevan, 506p. (in Russian)
- Paffenholtz K.N.** 1970. An overview of the magmatism and metallogeny of the Caucasus. Publishing House of the Academy of Sciences of the Arm.SSR, Yerevan, 432p. (in Russian)

- Patino Douce A.E. and Harris N.** 1998. Experimental constraints on Himalayan anatexis. *Journal of Petrology* 39, p.698–710.
- Pearce J.A., Peate D.W.,** 1995. Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas. *Annu Rev Earth Planet Sci* 23, p.251–285.
- Ramezani J., Tucker R.D.** 2003. The Saghand region, Central Iran: U-Pb geochronology petrogenesis and implications for Gondwana tectonics. *Am. J. Sci.* 303, p.622–665.
- Rolland Y.** 2017. Caucasus collisional history: Review of data from East Anatolia to West Iran. *Gondwana Research* 49, p.130–146.
- Rolland Y., Galoyan G., Bosch D., Sosson M., Corsini M., Fornaci M. and Verati C.** 2009. Jurassic Back-arc and Cretaceous hot-spot series in the Armenian ophiolites – implications for the obduction process. *Lithos* 112, p.163–187.
- Rossetti F., Nozari R., Lucchi F., Vignaroli G., Gerdes A., Nasrabadi M., Theye T.** 2015. Tectonic setting and geochronology of the Cadomian (Ediacaran-Cambrian) magmatism in Central Iran, Kuh-e-Sarhangi region (NW Lut Block). *Journal of Asian earth sciences* 102, p.24–44.
- Şen C.** 2007. Jurassic volcanism in the Eastern Pontides: Is it Rift related or Subduction related? *Turkish Journal of Earth Sciences* 16, p.523–539.
- Sosson M., Rolland Y., Muller C., Danellian T., Melkonyan R., Kekelia S., Adamia S., Babazadeh V., Kangarli T., Avagyan A., Galoyan G. and Mosar J.** 2010. Subductions, obduction and collision in the Lesser Caucasus (Armenia, Azerbaijan, Georgia), new insights. In: Sosson M., Kaymakci N., Stephenson R., Bergerat F. and Starostenko V. (Eds.), *Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform*. *GSL Special Publications*; v. 340, p.329–352.
- Sun S.S. and McDonough W.F.** 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D., Norry, M.J. (Eds.), *Magmatism in Ocean Basins*, *GSL Special Publication* 42, p.313–345.
- Sunal G., Natal'in B., Satir M., Toraman E.** 2006. Paleozoic magmatic events in the Strandja Massif, NW Turkey. *Geodinamica Acta* 19, p.283–300.
- Taylor S.R. and McLennan S.M.** 1985. *The continental crust: its composition and evolution*. Oxford, Blackwell Scientific, 312p.
- Ustaömer P.A., Ustaömer T., Collins A.S., Robertson A.H.F.** 2009. Cadomian (Ediacaran-Cambrian) arc magmatism in the Bitlis Massif, SE Turkey: Magmatism along the developing northern margin of Gondwana. *Tectonophysics* 473, p.99–112.
- Zakariadze G.S., Dilek Y., Adamia Sh.A., Oberhänsli R.E., Karpenko S.F., Bazylev B.A., Solov'eva N.** 2007. Geochemistry and geochronology of the Neoproterozoic Pan-African Transcaucasian Massif (Republic of Georgia) and implications for island arc evolution of the late Precambrian Arabian–Nubian Shield. *Gondwana Research* 11, p.92–108.
- Zaseyev V.G., Abramovich I.I.** 1993. The Jurassic-Cretaceous petrochemical zonation of the Somkheto-Kapan island-arc system (Lesser Caucasus). *Geotectonics*, No.2, p.47–53. (in Russian)

ՈՒՇ ՆԵՈՊՐՈՏԵՐՈԶՈՅԱՆ-ՎԱՂ ՔԵՄԱՐԻ, ՈՒՇ ՊԱԼԵՈԶՈՅԱՆ ԵՎ ՈՒՇ ՅՈՒՐԱՅԻ ԳՐԱՆԻՏՈՒԴԱՅԻՆ ՄԱԳՄԱՏԻԶՄԸ ԳՈՆԴՎԱՆԱՅԻ ՀՅՈՒՄԻՍԱՅԻՆ ԱԿՏԻՎ ԾԱՅՐԱՄԱՍՈՒՄ՝ ՓՈՔՐ ԿՈՎԿԱՍԻ ԾԱՂԿՈՒՆՅԱՅ ԱՆՏԻԿԼԻՆՈՐԻՈՒՄ (ԿԵՆՏՐՈՆԱԿԱՆ-ՀՅՈՒՄԻՍԱՅԻՆ ՀԱՅԱՍՏԱՆ)

Գալոյան Ղ.Լ., Զունգ Ս.-Լ., Մելքոնյան Ռ.Լ., Լիի Յ.-Հ., Աթայան Լ.Ս., Ղուկասյան Ռ.Խ., Խորենյան Ռ.Հ., Գրիգորյան Ա.Գ., Սահակյան Ս.Ս., Ավագյան Ն.Ա.

Ամփոփում

Հայաստանում Ծաղկունյաց անտիկլինորիումը կամ բյուրեղային հիմքը բացառիկ լեռնաձալքավոր կառույց է, որը բնորոշվում է իր բազմափուլ մագմատիզմով, մետամորֆիզմով և լեռնակազմությամբ: Բազմափուլ

մաթիվ հետազոտություններ են կատարվել այստեղ առկա հնագույն գրանիտոիդների վրա, որոնք հասակագրվել էին մինչքեմբրից մինչև վերին կավիճ (իրականում՝ յուրա), սակայն դրանց պետրոգենեզիսի, երկրադինամիկայի և տեղադրման հասակների հարցերը շարունակում են մնալ հակասական: Սույն հարցերի վերանայումից հետո ներկայացված են նոր դաշտային դիտարկումների, ապարների համախառն երկրաքիմիական անալիզի և U-Pb ցիրկոնային երկրաժամանակագրության տվյալներ՝ գնահատելու համար տարբեր գրանիտոիդների հասակը և տեկտոնական իրավիճակը, որոնք մերկանում են Օադկունյաց մինչքեմբրիան հիմքում՝ իբրև գոնդվանական ծագման Հարավ-հայկական միկրոսալի (SAM) մաս (միջուկ ?): Նոր U-Pb ցիրկոնային բյուրեղացման հասակները տատանվում են ուշ նեոպրոտերոզոյանից մինչև վաղ քեմբրիան (~545–530Ma)՝ գրանիտազնեյսների համար, միջինից մինչև ուշ պերմիան (~270–250Ma)՝ պլազիոգրանիտների (տրոնդեմիտներ) համար և ուշ յուրայից մինչև վաղ կավիճ (~155–140Ma)՝ տոնալիտային ֆորմացիայի ապարների համար: Երկրաքիմիական առումով, այս տարահասակ գրանիտոիդները կրավկալային են, պերալյումինային (peraluminous) և բնորոշվում են խոշորահոն լիթոֆիլ տարրերի (LILE) ու Th հարստացմամբ, Nb-Ta և Ti հստակ արտահայտված մինիմումներով և LREE/HREE բարձր հարաբերություններով, որոնք մատնանշում են սուբդուկցիայի հետ առնչվող մագմատիկ իրադարձություններ: Ուսումնասիրված գրանիտոիդները երկրաքիմիապես հանդիսանում են ցամաքային ադեղային տիպի (Անդիան տիպ) առաջացումներ, որոնց ներկայությունը մատնանշում է Պրոտո-Պալեո- և Նեոթետիս օվկիանոսային ավազանների հարավ ուղղված սուբդուկցիայի էպիզոդները հյուսիսային Գոնդվանայի Հարավ-հայկական միկրոսալի ակտիվ ծայրամասի տակ վերոնշյալ ժամանակային միջակայքերում:

**НОЗДНЕНЕОНПРОТЕРОЗОЙСКИЙ-РАИНЕКЕМБРИЙСКИЙ,
НОЗДНЕПАЛЕОЗОЙСКИЙ И НОЗДНЕЮРСКИЙ
ГРАНИТОИДНЫЙ МАГМАТИЗМ СЕВЕРНОЙ АКТИВНОЙ
ОКРАИНЫ ГОНДВАНЫ ЦАХКУНЯЦКОГО АНТИКЛИНОРИЯ
МАЛОГО КАВКАЗА (ЦЕИТРАЛЬНАЯ-СЕВЕРНАЯ АРМЕНИЯ)**

**Галоян К.Л., Чунг С.-Л., Мелконян Р.Л., Лии Ю.Х., Атаян Л.С.,
Гукасян Р.Х., Хоренян Р.А., Григорян А.Г., Саакян С.С., Авагян Н.А.**

Резюме

Цахкуняцкий антиклинорий или кристаллический фундамент в Армении является уникальным геотектоническим сооружением, характеризующимся многостадийным магматизмом, метаморфизмом и орогеней. Многочисленные исследования были проведены на обнажающихся здесь гранитоидах, датированных от докембрия до верхнего мела (в действи-

тельности юрского периода), однако вопросы их петрогенеза, геодинамики и возраста залегания оставались спорными. После пересмотра этих вопросов представлены результаты новых полевых наблюдений, валовая геохимия пород и U-Pb геохронология цирконов, с целью оценки возраста и тектонической обстановки различных гранитоидов, сформированных в докембрийском фундаменте Цахкуняца как части (ядро?) Южноармянской микроплиты (SAM) Гондваны. Новые U-Pb возраста кристаллизации циркона варьируют от позднего неопротерозоя до раннего кембрия (~545–530Ma) для граптогнейсов; от средней до поздней перми (~270–250Ma) для илагиограцитов (трондьемитов); и от поздней юры до раннего мела (~155–140Ma) для пород тоналитовой формации. Геохимически, эти разновозрастные гранитоиды являются известково-щелочными, пералюминиевыми и характеризуются обогащением LILE элементами и Th, с выраженными минимумами Nb-Ta и Ti, высоким соотношением LREE/HREE, указывающим на магматические события, связанные с субдукцией. Изученные гранитоиды геохимически являются образованиями типа континентальных дуг, и их присутствие указывает на эпизоды южно-направленной субдукции Прото-, Палео- и Неотетис океанов под активную окраину SAM северной Гондваны в течение вышеуказанных временных интервалов.

ГЕОФИЗИКА

К ВОПРОСУ О ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ ТРЕХКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМ

Матевосян А.К.

*Институт геологических наук НАН РА
0019 Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24а, Республика Армения,
E-mail: arshak.matevosyan@yandex.ru
Поступила в редакцию 16.01.2020*

В статье рассмотрены особенности графической визуализации результатов трехкомпонентных систем; приведены принципы оптимальной классификации данных по основным параметрам и характеристикам; проанализированы и предложены эффективные градации при отображении экспериментальных данных с применением график-треугольников. На конкретном примере показана необходимость обоснованного графического представления и анализа таких многокомпонентных систем.

В настоящее время решающее значение придается больше визуализации данных экспериментальных исследований в разных областях науки и техники. Объективное наглядное представление сложных явлений и сред агрегатов зачастую играет решающую роль в изучении различных многофакторных процессов. Очевидно, что неверно обоснованная и примененная классификация данных наблюдаемых (*определяемых*) свойств среды и протекающих в ней процессов зачастую приводит к получению непригодных исходных данных, неприемлемым результатам и абсурдным обобщениям, и в итоге к информации, не находящей дальнейшего применения.

Важное место визуализации практически на всех стадиях электроразведочных исследований (*в процессе измерений, обработки, сопоставления и интерпретации большой совокупности данных, полученных разными методами и модификациями*) уделено и в наших предыдущих работах. При этом, особую важность в процессе обработки и интерпретации электроразведочных данных приобретает представление характера проявления различных основных пространственных и амплитудно-временных векторных и тензорных параметров исследуемых электрических полей с применением сложных многоэлектродных установок измерений с различными системами возбуждения искусственного электрического поля (Электроразведка, 1989; Матевосян, 1999; 2003¹; 2003²; 2017). Рациональный комплекс графической иллюстрации основных интерпретируемых пространственно-

временных зависимостей зачастую играет определяющую роль для объективного более достоверного объяснения протекающих в геологической среде сложных физико-химических процессов. В частности, такой методический (*системный*) подход применен в (Матевосян, 2017) на разных этапах детализации векторных измерений: построение кривых дифференциальной (*первой производной переходной характеристики вызванной поляризации по логарифму времени*) кажущейся поляризуемости, диаграмм векторов плотности тока, напряженностей первичного и вторичного электрических полей, временных диаграмм компонентов тензора кажущейся поляризуемости, круговых временных диаграмм, разверток диаграмм различных параметров **кажущегося сопротивления (КС)** и **кажущейся поляризуемости (КП)**.

Использование и сопоставление разнообразного графического материала позволили выявить и показать, что в ряде случаев круговые диаграммы параметров КС и КП не однозначно характеризуют двухмерный тензор второго ранга КС и КП (*в частности, при исследовании магнитотеллурического поля – четырехкомпонентная система*), и для устранения отмеченной неоднозначности (*с целью эффективной интерпретации динамики измененных электрических полей и параметров*) предлагается особый способ визуализации – построение отрезков с координатами компонентов соответствующих тензоров (Матевосян, 2000²). В способе исследования вариаций геомагнитного поля (Матевосян, 2000¹), заключающемся в определении трехмерного тензора второго ранга нормированного кажущегося электрического сопротивления (*девятоккомпонентная система*), представлен другой специфический способ визуализации, способствующий сопоставлению полученных данных по результатам трехкомпонентных измерений за три цикла наблюдений и с применением различных пунктов наблюдений (*путем построения «пространственных треугольников»*). Следует подчеркнуть, что указанные графические построения отражают и имеют конкретный физический смысл – необходимое условие при обосновании правильности, логичности, объективности и эффективности примененного способа визуализации.

В настоящей статье рассмотрены особенности графического способа представления результатов трехкомпонентных систем (*сумма значений всех трех компонентов принимается равной 100%*). Приведены принципы оптимальной классификации данных по основным параметрам и характеристикам, а также проанализированы и предложены эффективные градации при отображении экспериментальных данных с применением график-треугольников. На конкретном примере (*результатах гидрохимических исследований минеральных вод Армении*) показана необходимость и особая важность визуализации и анализа таких многокомпонентных систем.

Предлагаемый выбор классификации (*систематизации*) данных многокомпонентной системы наблюдений основывается на критериях оптимальной градации при решении конкретно поставленной задачи и

определения систематической методической погрешности компонентов с учетом уровня помех (*природных естественно-вариационных, искусственно-вызванных, техногенных искажающих факторов*). Основными параметрами и характеристиками различных (*известных и предлагаемых*) градаций (*разделений, расчленений*) график-треугольника при изучении трехкомпонентной системы являются (*следует считать*): количество секторов (*фрагментов*) и узлов, количество стыков (*контактов*) секторов в каждом узле, форма (*изометрия*) и относительная площадь (*нормированная по величине всей площади график-треугольника*) каждого сектора, диапазоны изменения каждого компонента в разных секторах. Ниже рассмотрим варианты градаций график-треугольника с параллельным представлением на конкретном примере трехкомпонентной системы: при классификации минеральных вод Армии и химическому составу (Геология Армянской ССР, том IX, 1969).

Различные градации график-треугольника изображены на рис. 1, а в табл. 1 и 2 приведены основные характеристики каждого сектора разных конфигураций (*известных и предлагаемых*) разделений график-треугольника. В настоящее время простая градация график-треугольника (*4 сектора, включая смешанный*) известна при классификации химического состава подземных вод (Богомолов, 1975) (рис.1а), достаточно грубая, мало информативная, которая скорее всего носит иллюстрационный («*символический*») характер (Гидрогеология СССР, 1968, том XI, Армянская ССР). Известна также чрезмерно-детальная градация (*25 секторов*) (Ланге, 1969) (рис.1б), однако в ней присутствуют «мелкие» области неоднозначно-выделяемых смешанных типов (*9 секторов*), что служит веским аргументом не в пользу эффективности применения такой расчлененной классификации.

Общепризнанная химическая классификация природных (*подземных*) вод основана на формуле М.Г. Курлова, по которой (*в зависимости от выбора величины эквивалентного состава ионов (анионов – HCO_3 , Cl , SO_4 и катионов – Ca , $\text{Na}+\text{K}$, Mg): больше 10 или 20%*), которая в виде градации график-треугольника представлена рис. 1в или 1г, соответственно. Однако, при этих градациях не выделяется центральный смешанный сектор (*область переходного химического состава*), что является существенным недостатком такой классификации. С целью теоретического обоснования необходимости выделения в график-треугольнике переходной (*смешанной*) области между центральными секторами (*ввиду возможно такого естественного проявления результатов исследований, в частности, гидрохимизма подземных вод*), рассмотрим случай практически равных содержаний компонентов трехкомпонентной системы *ABC* при погрешности определений равной 2%: (*A, B, C*)= $33\pm 2\%$ или $A+B+C=100\%$ – область центрального узла градации график-треугольника (рис. 1в, 1г), в котором стыкуются (*контактируют*) 6 внутренних секторов: *ABC, ACB, BAC, BCA, CAB* и *CBA* (*в частности, для типичного смешанного анионного состава воды – HCO_3 , Cl и SO_4*). Нетрудно представить, что в рас-

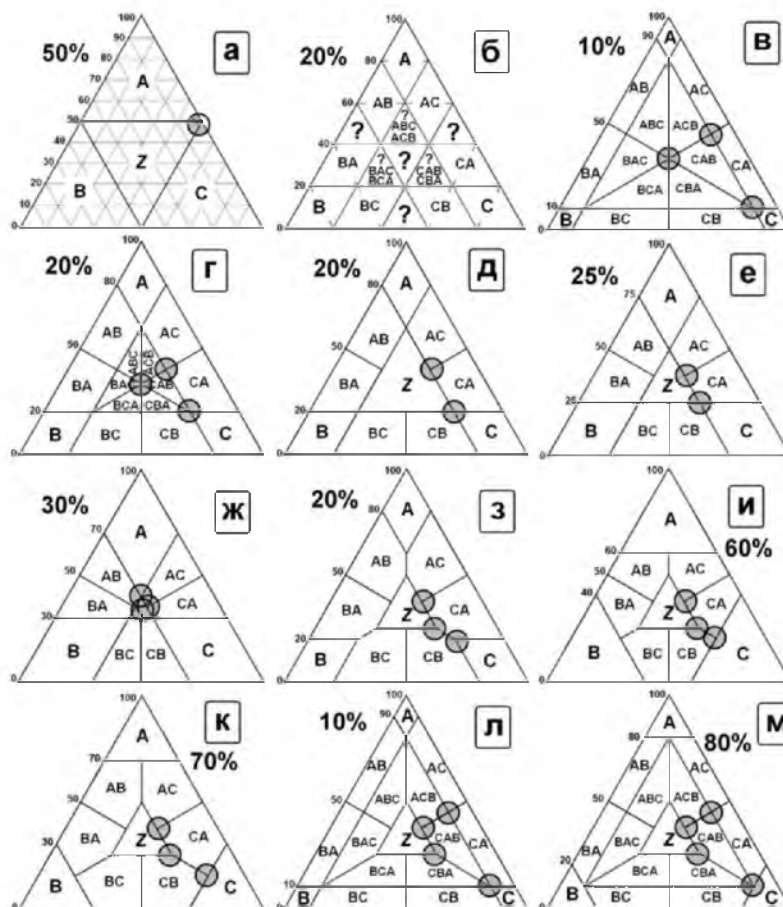


Рис.1. Различные градации график-треугольника с отмеченными узлами (затемненные кружки) при погрешности экспериментальных исследований трехкомпонентной системы ABC равной $\pm 5\%$.

Применяемые: а – рассмотренная в (Богомолов Г.В. 1975), 4 сектора; б – представленная в (Ланге О.К. 1969); в – согласно классификации, представленной в (Гидрогеология СССР. 1968. том XI. Армянская ССР), 15 секторов; г – согласно классификации (Геология Армянской ССР. том IX. 1969. Минеральные воды), 15 секторов. Предлагаемые: с присутствием переходного (смешанного) сектора: 10 секторов – д, е, ж, комбинированные – з, и, к; 16 секторов – комбинированные: л, м.

в рассмотренном случае полученные результаты можно причислить к любому из перечисленных шести секторов, что в итоге приводит к абсурдному заключению. Это обстоятельство однозначно диктует необходимость выделения нереходной области (Z) в центральной части график-треугольника. Такой градации, в некоторой степени, соответствует применяемый график-треугольник рис. 1а (Богомолов, 1975). Однако согласно этой градации, к смешанному типу относятся находящиеся в области граничных (внешних) узлов данные: например, при $(A, B, C) = (49\%, 48\%, 3\%)$ при погрешности исследований $\pm 5\%$, с чем естественно нельзя согласиться, поскольку в данном случае имеем явно выраженное доминирование двух компонентов над третьим (соответствие «внешним» типам AB, AC или

ВС, а не «внутренним» **ABC**, **ACB**, **BAC**, **BCA**, **CAB** или **CBA**, при градациях рис.1в или 1г). В итоге, эта градация, несмотря на свою простоту при классификации экспериментальных данных (всего 4 сектора), в области узлов приводит к неудовлетворительному результату: к неопределенности при причислении данных к конкретному классу (*типу*); н тем самым требует дополнительной детализации.

Таблица 1

Интервалы изменения составляющих трехкомпонентной системы при различной градации график-треугольника.

Рис.1	компоненты	сектор графика-треугольника			
		А	AB	ABC	Z
		интервал изменения, %			
а	А	> 50	–	–	< 50
	В	< 50			< 50
	С	< 50			< 50
в	А	> 80	45 – 90	33.3 – 80	–
	В	< 10	10 – 50	10 – 45	
	С	< 10	< 10	10 – 33.3	
г	А	> 60	40 – 80	33.3 – 60	–
	В	< 20	20 – 50	20 – 40	
	С	< 20	< 20	20 – 33.3	
д	А	> 60	40 – 80	–	20 – 60
	В	< 20	20 – 50		20 – 60
	С	< 20	< 20		20 – 60
е	А	> 50	37.5 – 75	–	25 – 50
	В	< 25	25 – 50		25 – 50
	С	< 25	< 25		25 – 50
ж	А	> 40	35 – 70	–	30 – 40
	В	< 30	30 – 50		30 – 40
	С	< 30	< 30		30 – 40
з	А	> 60	37.5 – 80	–	25 – 50
	В	< 20	20 – 50		25 – 50
	С	< 20	< 25		25 – 50
и	А	> 60	37.5 – 60	–	25 – 50
	В	< 40	20 – 50		25 – 50
	С	< 40	< 25		25 – 50
к	А	> 70	37.5 – 70	–	25 – 50
	В	< 30	15 – 50		25 – 50
	С	< 30	< 25		25 – 50
л	А	> 80	45 – 90	37.5 – 80	25 – 50
	В	< 10	10 – 50	10 – 45	25 – 50
	С	< 10	< 10	10 – 25	25 – 50
м	А	> 80	45 – 80	37.5 – 80	25 – 50
	В	< 20	10 – 50	10 – 45	25 – 50
	С	< 20	< 10	10 – 25	25 – 50

Таблица 2

Величины относительных площадей секторов (*фрагментов*)
при разной градации график-треугольника.

Рис. 1	сектор графика-треугольника			
	A	AB	ABC	Z
	относительная площадь, %			
а	25	–	–	25
в	2	7.5	8.17	–
г	8	10	2.67	–
д	8	10	–	16
е	12.5	9.375	–	6.25
ж	18	7.5	–	1
з	8	11.625	–	6.25
и	16	7.625	–	6.25
к	9	11.125	–	6.25
л	2	7.5	7.125	6.25
м	4	6.5	7.125	6.25

Сопоставление расчленений график-треугольника при классификации (*дифференциации*) трехкомпонентной системы, при котором считается значным (*представительным*) присутствие\наличие компонента более 10% (рис.1в) и 20% (рис.1г), соответственно, показывает, что увеличение внешних секторов за счет внутренних (*при переходе с 10% на 20% согласно* (Геология Армянской ССР. том IX. 1969. Минеральные воды)), судя по рис.1 и табл.1 и 2, вполне логично и оправдано, поскольку при этом в целом значительно уменьшается относительная площадь внутренних (*менее «однозначных»*) секторов (табл.2), что в итоге приводит к снижению степени (*уровня*) неопределенности при дифференциации результатов, характеризующихся средними (*соразмерными*) величинами трех компонентов.

На рис.1д изображена упрощенная градация (*10 секторов*), чем-то похожая на рис.1г, однако в ней шесть выше рассмотренных внутренних сектора объединены в один: центральный переходной (Z). Аналогичные градации при разных параметрах представлены на рис.1е и 1ж (*также 10 секторов*). В этих модификациях, в узлах сетки сходятся 3 или 4 сектора, что несомненно говорит о существенной рациональности такой градации по сравнению с рис.1в и 1г (*15 секторов*). Однако нетрудно заметить, что при относительно малой величине (*сравнимой с точностью исследований*) центрального переходного сектора (рис.1ж), такую градацию также нельзя считать оптимальной, поскольку сектор Z практически не позволяет уверенно разделять смежные с ним сектора, т.е. не выполняет предназначенную ему основную функцию. С учетом выше рассмотренного, на рис.1з предлагается комбинированная (*с использованием фраг-*

ментов диаграмм рис.1д и 1е) градация график-треугольника (10 секторов), при которой все узлы сетки образованы на стыках только трех секторов, что безусловно эффективно уменьшает области неоднозначной трактовки данных. Несколько видоизмененные комбинированные градации приведены на рис.1и и 1к (также 10 секторов и с присутствием центрального переходного). На рис.1л и 1м изображены более детальные градации диаграммы рис. 1в с добавлением центрального смешанного (итого 16 секторов), но считать их эффективными при погрешности исследований порядка 5% (Геология Армянской ССР. 1969; Гидрогеология СССР. 1968; Халатян и др., 2004)) нет оснований, поскольку излишняя необоснованная детализация график-треугольника приводит к смысванию предусматриваемых существенных различий между отдельными смежными классами и в целом к нерациональной дифференциации данных между практически мало отличающимися типами/ подтипами. Однако, судя по величинам относительных площадей разных секторов график-треугольника (табл.2), такие дифференциации могут быть применены и быть вполне эффективны при погрешности не более 2%.

Таким образом, основываясь на вышеприведенных критериях и основных параметрах (характеристиках) градации трехкомпонентной системы (рис.1 и табл.1 и 2) к оптимальным раздроблениям график-треугольников в настоящее время при изучении минеральных вод Армении можно отнести рис.1з и 1к (по 10 секторов).

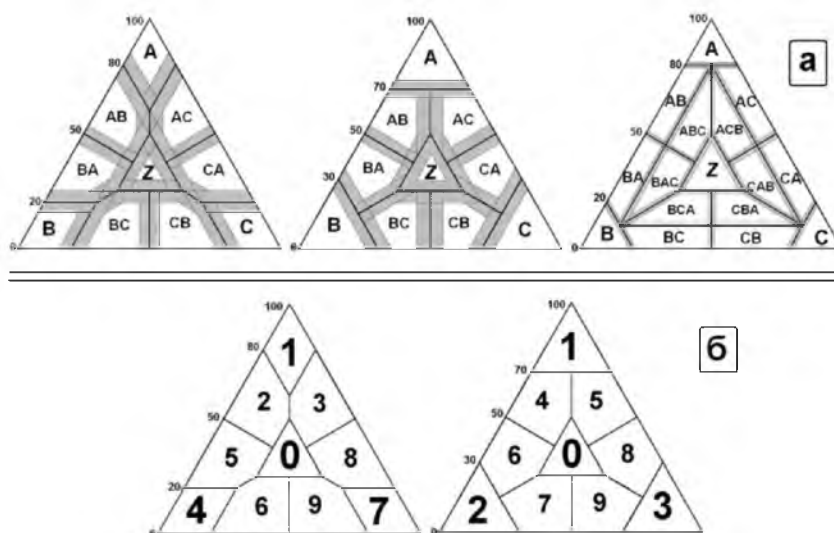


Рис.2. Предлагаемые варианты равносторонней градации график-треугольника при погрешности экспериментальных исследований равной $\pm 5\%$ (10 секторов, согласно рис.1з и 1к) и $\pm 2\%$ (16 секторов, рис.1м) с затемненными зонами неоднозначности (а) и примеры условной цифровой нумерации секторов график-треугольника при десятичной классификации трехкомпонентной системы (б).

На рис.2а изображены комбинированные градации (также 10 секторов с присутствием центрального – переходного и всех узлов, образованных на стыках только трех секторов – рис.1з и 1к) с затемнением зои неоднозначности (при погрешности исследований $\pm 5\%$), которые можно рекомендовать при классификации химического (анионного и катионного) состава минеральных вод Армении: $10 \cdot 10 = 100$ типов (вместо применяемых, на наш взгляд необоснованно детализированных, $15 \cdot 15 = 225$ (Геология Армянской ССР. 1969)). Примечательно, что площадь отмеченных зон равна приблизительно половине площади каждого сектора и в целом график-треугольника, что очень важно и вполне удовлетворительно при такой высокой погрешности. Очевидно, что более детальная градация (в частности, 15 секторов) приводит к существенному увеличению зон неоднозначности, и в итоге, к иррациональной классификации данных. На рис. 2б предложены варианты нумерации секторов график-треугольника (цифровая классификация – десятичная градация), удобные при компьютерной обработке и интерпретации данных.

В табл.3 приведена 225 типовая классификация минеральных вод Армении (Геология Армянской ССР. 1969) с обозначением выявленных

Таблица 3

Приведенная в (Геология Армянской ССР. том IX. 1969. Минеральные воды) классификация минеральных вод Армении (57 типов) по основным ионным концентрациям (на основе 225 типовой классификации, в соответствии представленному график-треугольнику на рис.1г). Знаками «-», «+» и «±» обозначены типы смешанного (анионного, катионного и одновременного анион-катионного, соответственно) химического состава минеральных вод.

225 ТИПОВ				катионы															
				Ca				Na				Mg							
				Na	Na	Mg	Mg	Ca	Ca	Mg	Mg	Ca	Ca	Na	Na				
					Mg	Na			Mg	Ca			Na	Ca					
анионы	HCO ₃															15	39		
		Cl														9			
		Cl	SO ₄	-	-	±	±	-	-	-	±	±	-	-	±	±		-	0
		SO ₄	Cl	-	-	±	±	-	-	-	±	±	-	-	±	±		-	5
		SO ₄																10	
	Cl																2	5	
		HCO ₃															3		
		HCO ₃	SO ₄	-	-	±	±	-	-	-	±	±	-	-	±	±	-		0
		SO ₄	HCO ₃	-	-	±	±	-	-	-	±	±	-	-	±	±	-		0
		SO ₄															0		
	SO ₄																4	13	
		HCO ₃															5		
		HCO ₃	Cl	-	-	±	±	-	-	-	±	±	-	-	±	±	-		1
		Cl	HCO ₃	-	-	±	±	-	-	-	±	±	-	-	±	±	-		0
		Cl															3		
				4	6	3	2	5	8	8	4	4	8	1	1	1	1	1	57
				20				32				5							

Таблица 4

Классификация приведенных в (Геология Армянской ССР. том IX. 1969. Минеральные воды) данных минеральных вод Армении по основным ионным концентрациям (в присутствии смешанного сектора – 100 типовая классификация) в соответствии представленному график-треугольнику на рис.1д (47 типов).

100 типов			катионы										
			Ca			Na			Mg				Z ⁺
			Na	Mg		Ca	Mg		Ca	Na			
анионы	HCO ₃										10	24	
		Cl									7		
		SO ₄									7		
	Cl										2	5	
		HCO ₃									3		
		SO ₄									0		
	SO ₄										4	12	
		HCO ₃									5		
		Cl									3		
	Z											6	6
			4	6	5	8	8	8	1	1	1	5	47
			15			24			3			5	

типов источников (всего 57 типов) (градуация рис.1г), а в табл.4 эти же данные перегруппированы в 100 типовую классификацию (итого 47 типов) (градуация рис.1е). Выделенные центральные прямоугольники (36 подтипов, обозначенные «±» – табл.3) соответствуют области смешанного анион-катионного состава. Примечательно, что последние объединены в один смешанный тип – Z Z⁺ (табл.4). Также обратим внимание (табл.4), что из 47 обнаруженных типов – 10 с содержанием химических компонентов смешанного (анионного и/или катионного) составов можно в определенной мере считать высоким уровнем неоднозначности, однако нетрудно представить, что применение рекомендуемых градаций (рис.1з и 1к вместо рис.1д) существенно понизит указанный уровень (поскольку при этом величина относительной площади смешанного\переходного сектора уменьшится в 2,5 раза – табл.2). Таким образом, в данном случае (при достаточно большой погрешности исследований) отказ от излишне расчлененной (детальной) классификации не приводит к потере важной информации, а наоборот, повышает достоверность результатов и значительно упрощает различные манипуляции в процессе обработки, визуализации, интерпретации и геологическом истолковании исходного полевого материала.

Приведенные на рис.1 все градации график-треугольника являются симметричными (равносторонними, предусмотренными для представления равносильных компонентов), однако в зависимости от исследуемого процесса не исключается и асимметричное (неравностороннее) разделение с особым выделением требуемого одного компонента. С целью одно-

временной иллюстрации надежности каждого определения (измерения), целесообразно изображение данных на график-треугольнике выполнять «прозрачными» или «окрашенными» значками (принятыми условными обозначениями, характеризующими результаты по дополнительным специфическим параметрам) размером, соответствующим погрешности исследований. Это позволит максимально повысить объективность сопоставления разнохарактерных данных, полученных как при разной точности исследований, так и отличающихся по существу изучаемого процесса. Например, по времени – выявив динамику изменения параметров трехкомпонентной системы – мониторинг; по применяемой методике, экспериментальным особенностям, аппаратным характеристикам, тем самым повысив информативность графического материала, что особенно важно при анализе, интерпретации результатов и их научно-прикладном истолковании.

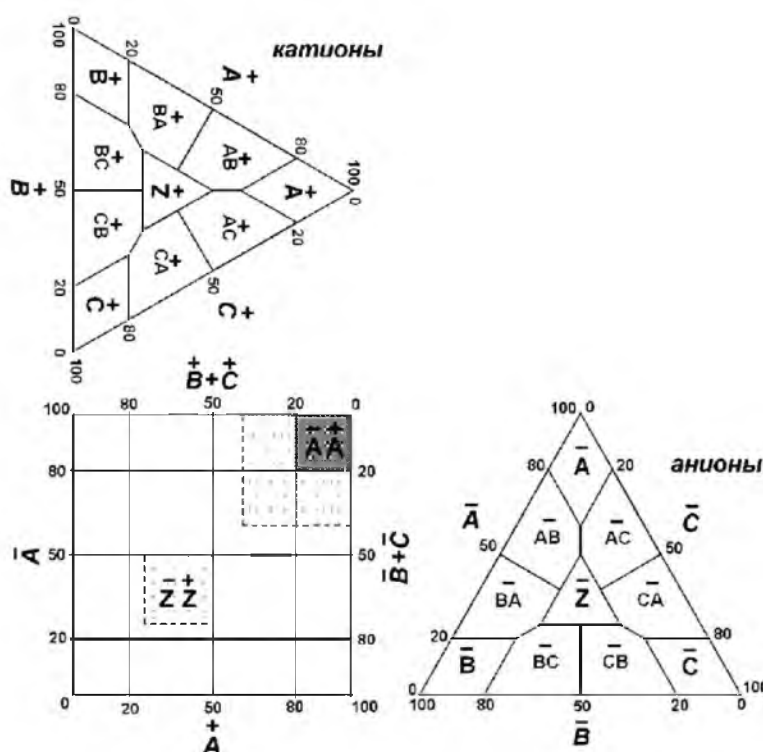


Рис.3. Комплексная диаграмма химического состава подземных вод: два график-треугольника и график-квадрат согласно градации рис.1з.

На рис.3 изображена комплексная диаграмма: два график-треугольника и график-квадрат, аналогичная предложенной Н.И. Толстихиным (представленная в (Ланге, 1969)) и применяемая при одновременном/совместном рассмотрении двух трехкомпонентных систем (в частности, анион-катионного состава подземных вод). Следует обратить внимание, что верхний график-треугольник нами перевернут на 180° (в связи с чем,

изменены направления и надписи горизонтальных осей график-квадрата), что позволяет привычным образом представить зависимость компонентов на график-квадрате, тем самым, устранив неудобства по целостному восприятию данной многокомпонентной графической зависимости. При представлении большого количества данных на график-треугольнике, во избежание необъективного истолкования данных вследствие их наложения (совмещения), рекомендуется (целесообразно) дополнительное построение гистограмм распределения компонентов трехкомпонентной системы (рис.4).

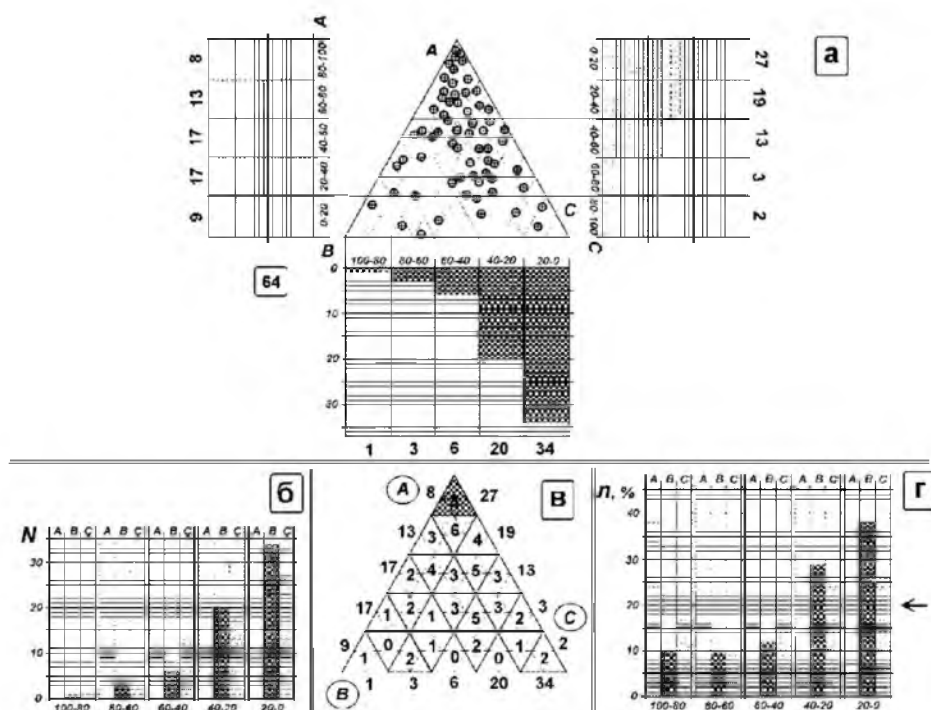


Рис.4. Пример построения гистограмм распределения компонентов трехкомпонентной системы ABC (64 определения измерения).

- а – график-треугольник и гистограммы распределения количества данных трех компонентов в пяти интервалах;
- б – диаграмма (совмещенная гистограмма) распределения количества данных трех компонентов в пяти интервалах изменения N ;
- в – график-треугольник с представлением количества данных в каждом единичном треугольнике;
- г – диаграмма (совмещенная гистограмма) распределения количества данных трех компонентов в пяти интервалах, нормированные по величине относительной площади каждого интервала изменения n (по количеству единичных треугольников), в процентах: (стрелкой показана величина n при равномерном распределении компонента по всему график-треугольнику – в данном случае равная 20%).

Резюмируя вышесказанное, можно заключить, что четкая систематизация, объективный и всесторонний анализ данных и результатов с поэтапной визуализацией на всех стадиях научно-исследовательских работ –

необходимое и обязательное требование (*наряду с соблюдением действующих инструкций и методических указаний*) и является неотъемлемой частью современного экспериментального процесса, пренебрежение которым может привести к отсутствию возможности выявления и исправления ошибок (*методических, аппаратурных, технических*), неверным субъективными выводам, заключению и практическим рекомендациям.

Визуализация данных имеет особое значение и при изучении особенностей пространственно-временного распределения сложного непредсказуемого характера **техногенного электромагнитного поля (ТЭМП)** при работах электроразведочным методом блуждающих токов (Матевосян, 2004). Особенно перспективным (*с целью увеличения достоверности интерпретации электроразведочного полевого материала*) представляется применение график-треугольников при изучении распределения и динамики изменения трехфазного переменного ТЭМП (*также являющегося трехкомпонентной системой*) в геологической среде.

Автор выражает искреннюю признательность Гюрджян Нарине, принявшей активное добровольное участие при вводе, корректировке и систематизации исходных данных предшествующих опубликованных исследований химического состава минеральных вод Армении, а также благодарность Авакяну А.А. за эффективное обсуждение статьи.

ЛИТЕРАТУРА

- Богомолов Г.В. 1975. Гидрогеология с основами инженерной геологии. М., Высшая школа, 319с.
- Геология Армянской ССР. том IX. 1969. Минеральные воды. Ереван, Изд. АН АрмССР, 524с.
- Гидрогеология СССР. 1968. том XI. Армянская ССР. М., Недра, 352с.
- Ланге О.К. 1969. Гидрогеология. М., Высшая школа, 368с.
- Матевосян А.К. 1999. Исследование особенностей электрических полей многоэлектродных систем возбуждения. Изв. НАН РА, Науки о Земле, LII, №1, с.53-63.
- Матевосян А.К. 2000¹. Способ интерпретации вариаций геомагнитного поля. Изв. НАН Армении, Науки о Земле, LIII, №1-2, с.93-98.
- Матевосян А.К. 2000². К вопросу интерпретации вариаций поля теллурических токов. Изв. НАН Армении, Науки о Земле, LIII, №3, с.59-61.
- Матевосян А.К. 2003¹. Многоазимутальное комбинированное электрическое зондирование. Изв. НАН Армении, Науки о Земле, LVI, №1, с.50-58.
- Матевосян А.К. 2003². Трехазимутальная модификация МАК-зондирования. Изв. НАН Армении, Науки о Земле, LVI, №2, с.56-59.
- Матевосян А.К. 2004. Обработка, интерпретация и визуализация результатов векторной съемки методом блуждающих токов. Изв. НАН Армении, Науки о Земле, LVII, №2, с. 52-58.
- Матевосян А.К. 2017. Оперативный способ рашифровки локальных аномалий от рудных объектов методом вызванной поляризации. Изв. НАН Армении, Науки о Земле, 70, №2, с.34-49.
- Халатян Э.С., Хачанов Х.В., Шагинян Г.В. 2004. Минеральные воды НКР и перспективы их использования. Изв. НАН Армении, Науки о Земле, LVII, №3, с.44-47.
- Электроразведка. 1989. Справочник геофизика. М., Недра, в двух книгах – 438с., 378с.

**ԵՌԱԲԱՂԱԴՐԻՉ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՏՎՅԱԼՆԵՐԻ
ՎԻԶՈՒԱԼԱՑՄԱՆ ՄԱՍԻՆ**

Մաթևոսյան Ա.Կ.

Ամփոփում

Հոդվածում քննարկվում են եռաբաղադրիչ համակարգերի արդյունքների վիզուալացման առանձնահատկությունները, տվյալների օպտիմալ դասակարգման սկզբունքները ըստ հիմնական պարամետրերի և բնութագրերի, վերլուծվում և առաջարկվում են արդյունավետ աստիճանականացումները գրաֆիկ-եռանկյունների օգտագործմամբ փորձարարական տվյալների ցուցադրման ժամանակ: Կոնկրետ օրինակի վրա ցույց է տրվում նման բազմաբաղադրիչ համակարգերի գրաֆիկական ներկայացման անհրաժեշտությունն և վերլուծության առանձնահատկությունը:

ON VISUALIZATION OF THREE-COMPONENT SYSTEMS DATA

Matevosyan A.K.

Abstract

This article discusses the features of visualization of the three-component systems results and the principles of the optimal classification of data according to the main parameters and characteristics. The effective gradations are analyzed and proposed when displaying experimental data using graph-triangles. A concrete example shows the need and special importance of the graphical presentation and analysis of such multicomponent systems.

ԷԿՈԼՈԳԻԱ

**ԱՐԲԱՆՑԱԿԱՅԻՆ ԼՈՒՍԱՆԿԱՐՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՄԱՆ
ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ՍԵՎԱՆԱ ԼՃԻ ԷԿՈԼՈԳԻԱԿԱՆ
ՀԻՄՆԱԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՄԱՆ ԳՈՐԾՈՒՄ**

Հովսեփյան Ա.

*ՀՀ ԳԱՍ Էկոլոգանոսֆերային հետազոտությունների կենտրոն,
Աբովյան 68, 0025 Երևան, Հայաստան
E-mail: aza.hovsepyan@cens.am
Հանձնվել է խմբագրություն 01.06.2020*

Սնանա լիճը Հայաստանի ամենամեծ ջրային ավազանն է, կարևորագույն բնապահպանական, տնտեսական, գեղարվեստական և մշակութային արժեք: Սակայն հիմնականում տնտեսական գործունեությունը և բնական տարրեր գործոններ ազդել են լճի էկոլոգիական վիճակի վրա, առաջ բերելով դրա աղտոտում և էվորոֆիկացում: Լճի էկոլոգիական հիմնախնդիրների ուսումնասիրման համար անհրաժեշտ են ժամանակակից մեթոդներ՝ լճի ջրի էկոլոգիական վիճակը բնութագրող գործոնների մասին ճշգրիտ ինֆորմացիա ստանալու համար: Արբանյակային լուսանկարները և հեռազննման տեխնոլոգիաները հնարավորություն են տալիս ստանալ արագ, պարբերական ինֆորմացիա լճի ամբողջ տարածքի վերաբերյալ: Աշխատանքում ներկայացված են արբանյակային հեռազննման տվյալների կիրառմամբ Սնանա լճի էկոլոգիական վիճակը պայմանավորող և բնութագրող մի շարք ցուցանիշների ուսումնասիրման արդյունքները:

Հանգուցային բառեր՝ Սնանա լիճ, էկոլոգիական վիճակ, արբանյակային լուսանկարներ, հեռազննում, արբանյակային տվյալներ

Ներածություն

Հեռազննման տեխնոլոգիաների և արբանյակային տվյալների, տարբեր միջավայրերի, մասնավորապես ցամաքային ջրերի էկոլոգիական վիճակի ուսումնասիրման և գնահատման գործում կիրառությունը ունի տասնամյակների պատմություն (Dörnhöfer and Oppelt, 2016): Հեռազննումը հնարավորություն է տալիս կրճատել հետազոտությունների հետ կապված ժամանակն ու ծախսերը, ընդարձակել հետազոտության մասշտաբները, ուսումնասիրություններ կատարել հեռավոր և դժվար հասանելի տարածքներում (Dlamini et al., 2016; Klemas and Pieterse, 2015):

Ցամաքային ջրերի, մասնավորապես լճերի հեռազննումը, ի տարբերություն օվկիանոսների, սահմանափակվում է մի շարք գործոններով: Օվկիանոսների հեռազննման մեջ կիրառվող տիեզերական նկար-

ները, ինչպես օրինակ MODIS, MERIS, չնայած ունեն ջրերի հեռազննման համար անհրաժեշտ ռադիոմետրիկ լուծաչափ և նկարահանման մեծ պարբերականություն (ժամանակային լուծաչափ), դրանց փոքր տարածական լուծաչափը, որը կիրառելի է օվկիանոսների համասեռ ջրերի համար, շատ դեպքերում կիրառելի չէ ցամաքային ջրային մարմինների համար, որոնք ունեն անհամեմատ փոքր մակերես (Wang, 2005): Ցամաքային ջրերը, ի տարբերություն օվկիանոսների ջրերի, ունեն ավելի բարդ «օպտիկական կառուցվածք»: Մյուս կարևոր առանձնահատկությունը բնական պայմանների տարբերությունն է, որով նաև պայմանավորվում է այն հանգամանքը, որ հնարավոր չէ մշակել մեկ ունիվերսալ ալգորիթ, որը կիրառելի կլիներ բոլոր լճերի, նույնիսկ նման պայմաններում լճերի համար: Այդ պայմաններն են ռելիեֆի կառուցվածքը, ծովի մակարդակից բարձրությունը, անթրոպոգեն օբյեկտների մոտիկությունը, լճի խորությունը, մթնոլորտում աերոզոլների կազմը և այլն: Ելնելով դրանից, գրեթե յուրաքանչյուր լճի համար պետք է մշակել առանձին ալգորիթ/մոդել (Bukata, 1995):

Landsat շարքի արբանյակային լուսանկարները Երկրի հեռազննման տարբեր ոլորտներում, այդ թվում ցամաքային ջրերի հեռազննման մեջ ամենաշատ կիրառված արբանյակային լուսանկարներն են: Սա պայմանավորված է մի շարք հանգամանքներով.

- Landsat համակարգը ապահովում է Երկրի հեռազննման անընդմեջ ստացվող տվյալների ամենամեծ ժամանակային շարքը (սկսած 1972թ.-ից):
- Landsat շարքի արբանյակային նկարներն ունեն շատ լճերի հեռազննման համար բնորոշ տարածական լուծաչափ, նկարները ստացվում են 16 օրյա պարբերականությամբ, տվյալները ստացվում են նաև թերմալ տիրույթում (սկսած Landsat TM-ից (Landsat 4-5)) (Wulder et al., 2019):
- Landsat 8 OLI/TIRS արբանյակային նկարները ունեն ավելի բարձր ազդանշան/աղմուկ հարաբերակցություն (Signal to Noise Ratio – SNR): Սա բարձրացնում է հեռազննման տվյալների վերծանման արդյունավետությունն ու ճշտությունը, մասնավորապես, ջրային օբյեկտների համար, քանի որ խտարբերություն ցամաքային օբյեկտների, ջրային օբյեկտներից ճառագայթումը ավելի թույլ է (Kudela et al., 2019; Ren et al., 2014):

Հայաստանում ջրային մարմինների, մասնավորապես Սևանա լճի հեռազննումն ունի հարաբերականորեն կարճ պատմություն (բացառությամբ հասանելի հրատարակված աշխատանքների՝ սկսած 2008թ.-ից): Չնայած դրան, այս հետազոտություններում ուսումնասիրվել են այն հիմնական գործոնները, որոնք կարևոր են լճի էկոլոգիական առանձնահատկությունների վերլուծության և գնահատման տեսանկյունից: Այսպես, MODIS արբանյակային նկարների և դաշտային սպեկտրոմետրի կիրառմամբ ուսումնասիրվել են Սևանա լճում քլորոֆիլ «a»-ի (քլորոֆիլ ալֆա) և կախված նյութերի սեզոնային փոփո-

խությունները (Heblinski et al., 2010), Սևանա լճի լիթորալ բուսականության մոնիթորինգի և գնահատման համար կիրառվել է բարձր լուծաչափի (մինչև 61սմ) QuickBird տիեզերական լուսանկար (Heblinski et al., 2011): Տարբեր տարիների Landsat արբանյակային լուսանկարների տարածաժամանակային շարքի վերծանմամբ ուսումնասիրվել են լճի մակերեսի փոփոխությունները 1933-2005թթ. ժամանակահատվածում (Agyemang et al., 2009): Landsat արբանյակային նկարների կիրառմամբ լճի ջրի որակը բնութագրող հիմնական ցուցանիշներն ուսումնասիրվել (ջերմաստիճան, ծաղկում (քլորոֆիլ«a»), պղտորություն) են՝ հեռազննման մոնիթորինգային համակարգ ստեղծելու նպատակով (Ասմարյան, 2017): Ջրի մակերևութային ջերմաստիճանի տարածաժամանակային փոփոխությունները և սառցակալումը նույնպես հետազոտվել են Landsat արբանյակային նկարների կիրառմամբ (Hovsepyan et al., 2018): Մեկ այլ հետազոտության մեջ Landsat նկարների շարքը օգտագործվել է Սևանա լճի ջրի մակարդակի տատանումներով պայմանավորված լճի ափագծի փոփոխություններն ուսումնասիրելու համար՝ սպեկտրալ ինդեքսների և DSAS (Digital Shoreline Analysis System) գործիքի կիրառմամբ (Hovsepyan et al., 2019): Բացի լոկալ հետազոտություններից, Landsat արբանյակային նկարները և մի շարք սպեկտրալ ինդեքսներ կիրառվել են ուսումնասիրելու համար տարածաշրջանի (Հայկական լեռնաշխարհի) երեք ամենամեծ՝ Սևան, Վան և Ուրմիա լճերի վրա կլիմայի փոփոխության և անթրոպոգեն ազդեցությունները (Taravat et al., 2016):

Ներկայացվող աշխատանքի նպատակն է ներկայացնել արբանյակային տվյալների կիրառմամբ Սևանա լճի ջրի որակական մի շարք ցուցանիշների և ափագծերի փոփոխության ուսումնասիրությունների արդյունքները:

Հետազոտման օբյեկտ

Աշխատանքի հետազոտման օբյեկտն է Սևանա լիճը, որը հանդիսանում է աշխարհի ամենամեծ բարձրալեռնային քաղցրահամ լճերից մեկը: Այն ունի հսկայական նշանակություն ոչ միայն Հայաստանի, այլ նաև ամբողջ տարածաշրջանի համար, քանի որ հանդիսանում է քաղցրահամ ջրի ամենամեծ շտեմարանը Հարավային Կովկասում: Սևանա լճի հայելին գտնվում է ծովի մակարդակից մոտ 1900մ բարձրության վրա: Ձևաբանորեն Սևանը բաժանվում է երկու մասի՝ Մեծ Սևանի և ավելի խորը Փոքր Սևանի: Սևանա լճի և նրա ջրահավաք ավազանի մակերեսների հարաբերությունը մոտ 1:3 է (1247կմ² և 3649կմ² համապատասխանաբար): Սևանա լիճ են թափվում 28 գետեր ու գետակներ, և միայն Հրազդան գետն է հոսում լճից (Հայկական ՍՍՀ ֆիզիկական աշխարհագրություն, 1971):

20-րդ դարի 30-ական թվականներին սկսված լճի մակարդակի արհեստական իջեցումը բերեց նրան, որ ջրի մակարդակը իջավ 19.6մ-ով, իսկ ջրի ծավալը կրճատվեց գրեթե երկու անգամ (58.5մ³-ից 32.5մ³):

Որպես հետևանք ջրից ազատված հատվածներում ակտիվացան էրոզիոն պրոցեսները, ջրի ծավալի կրճատումը բերեց ջրի թթվածնային և ջերմային ռեժիմների փոփոխությանը: Այդ ընթացքում նաև մեծ փոփոխություններ տեղի ունեցան լճի ջրահավաք ավազանում՝ արագ զարգացավ գյուղատնտեսությունը, արդյունաբերությունը, և որպես հետևանք, ավելացավ գետերից ջրառը, ջրի միջոցով աղտոտիչների ու սննդային նյութերի հոսքը դեպի լիճ, որն էլ հանգեցրեց լճի էկոլոգիական վիճակի շարունակական վատթարացմանը և էվորոֆիկացիային (Оганесян, 1996): 2000-ական թվականներից սկսվեց Սևանա լճի ջրի մակարդակի բարձրացմանն ուղղված ծրագիրը, սակայն ավամերձ բուսականության և շինությունների ոչ լրիվ մաքրման հետևանքով այդ մնացորդները նույնպես հանդիսացան լճի աղտոտման աղբյուր (*Интегральная оценка экологического состояния озера Севан (GEO-Lake Sevan)*, 2011):

Հետազոտության մեթոդները

Հետազոտության մեթոդները աշխատանքում ներկայացված են բոլոր ուսումնասիրված ցուցանիշների:

Սևանա լճում ջրիմուռների ծաղկում/Ֆիտոպլանկտոնում քլորոֆիլ «α»-ի պոտորություն: Քլորոֆիլ «α»-ի և պոտորության ուսումնասիրման համար առաջին մոտեցմամբ փորձ է արվել Սևանա լճի համար կիրառել այլ լճերի հետազոտություններում կիրառված լուսանկարների վերծանման մոդելներ (Chao Rodríguez et al., 2014; Dekker et al., 2001):

Հեռազննման տվյալների միջոցով **քլորոֆիլ «α»-ի** ուսումնասիրման հիմքում դրա մոլեկուլների կողմից տեսանելի և ինֆրակարմիր տիրույթում լույսի կլանման և ցրման առանձնահատկություններն են: Իսկ քլորոֆիլ «α»-ի քանակությունը իր հերթին հանդիսանում է ջրիմուռների ծաղկման ցուցանիշ (Park et al., 2010):

Հեռազննման միջոցով **ջրի պոտորության** ուսումնասիրության հիմքում ջրում կախված մասնիկների կողմից լույսի ցրման ու անդրադարձման առանձնահատկություններն են (Nechad et al., 2010):

Հեռազննման տվյալներ: Հետազոտության մեջ օգտագործվել են 2016թ. մայիս (06, 22), օգոստոս (10, 26), սեպտեմբեր (11) ամիսների Landsat 8 OLI/TIRS բազմասպեկտրալ արբանյակային լուսանկարները: Իրականացվել է արբանյակային լուսանկարների ռադիոմետրիկ և մթնոլորտային աղավաղումների շտկում: Նկարների ընտրությունը պայմանավորված է Սևանա լճում ջրիմուռների ծաղկման ժամանակահատվածով (Оганесян, 1996): Ընտրվել են 2016թ. ծաղկման ժամանակահատվածի համար առկա բոլոր հասանելի Landsat 8 արբանյակային լուսանկարները, որոնք զուրկ են ամպային ծածկույթից կամ առկա է նվազագույն ամպային ծածկույթ: Landsat 8 նկարի տեսանելի, մոտակա ինֆրակարմիր (ՄԻԿ) և կարճալիք ինֆրակարմիր տիրույթների մթնոլորտային աղավաղումների շտկումն իրականացվել է ATCOR մեթոդի կիրառմամբ (Richter and Schlapfer, 2019):

Դաշտային տվյալներ: Արբանյակային նկարների վերձանման արդյունքների ստուգման նպատակով 2016թ. սեպտեմբերի 19-ին կատարվել են դաշտային չափումներ՝ վերցվել են Սևանա լճի ջրի նմուշներ պոտորության չափման համար:

Սևանա լճում քլորոֆիլ «α»-ի տարածաժամանակային բաշխվածության պատկերը ստանալու համար կիրառվել է հետևյալ բանաձևը.

$$[Chla]=0.0979*exp(1)^{2.5926*(b3/b2)} (1):$$

Բանաձևում b3-ը և b2-ը անդրադարձումն է համապատասխանաբար կանաչ և կապույտ տիրույթներում: Ջրում քլորոֆիլ «α»-ի պարունակությունը տվյալ բանաձևում չափվում է մգ/մ³-ով:

Սևանա լճի ջրի պոտորության ուսումնասիրության համար կիրառվել է հետևյալ բանաձևը, որը չափում է կախված մասնիկների կոնցենտրացիան ջրում.

$$[TSS/SPM]=0.7581*exp(1)^{(61.683*(b3+b4)/2)} (2):$$

Որտեղ b3 և b4 անդրադարձումն է համապատասխանաբար կանաչ և կարմիր տիրույթներում: Տվյալ դեպքում պոտորության չափման (կախված նյութերի կոնցենտրացիայի) միավորն է մգ/լ:

Ջրի մակերևութային ջերմաստիճանի տարածաժամանակային փոփոխություն, լճի սառցակալում: Ջրի մակերևութային ջերմաստիճանի տարածաժամանակային փոփոխությունները ուսումնասիրելու համար օգտագործվել են 2013-2018թթ. Landsat 8 տիեզերական նկարները, որոնք ջերմային տվյալներ են ապահովում երկու տիրույթներում (B10-10.6-11.19մմ և B11-11.50-12.51մմ): 110 հասանելի նկարներից ընտրվել և ներբեռնվել են այն նկարները, որոնց վրա ամպային ծածկույթը նվազագույն է կամ բացակայում է: Կատարվել է նկարների ռադիոմետրիկ և մթնոլորտային աղավաղումների շտկում, ստացվել են ճառագայթման (emissivity) և ջերմաստիճանի տվյալները: Ջերմաստիճանի ստացումը հիմնված է բացարձակ սև մարմինների համար Պլանկի հավասարման վրա (Kealy and Hook, 1993): Ուսումնասիրվել են Մեծ և Փոքր Սևանի ջերմաստիճանների տարածաժամանակային փոփոխությունները օգոստոս և հունվար ամիսներին, ինչը համապատասխանում է լճի համար ամենատաք և ամենացուրտ ժամանակահատվածներին՝ համապատասխանաբար: Լուսանկարներից լճի յուրաքանչյուր հատվածի համար վերցվել են կտրվածքներ, որտեղից վերձանվել են ջերմաստիճանների արժեքները (37 և 17 կետերից համապատասխանաբար Մեծ և Փոքր Սևանի համար):

Լճի ջրի սառցակալման պարբերականությունը հեռագնման միջոցով ուսումնասիրելու համար օգտագործվել են Landsat 7 և Landsat 8 նկարները՝ 2000-2017թթ. համար: Ջուրը, ցամաքը և ձյունը/սառույցը տարբերակելու համար կիրառվել է նորմավորված տարբերությունների ձյան/սառույցի ինդեքսը (Normalized Differences Snow/Ice Index-NDSII), որը հիմնված է կանաչ և կարճ ալիք ինֆրակարմիր (SWIR) տիրույթների վրա.

$$NDSII=(Green-SWIR)/(Green+SWIR) (3),$$

որտեղ Green և SWIR ճառագայթումն է համապատասխանաբար կանաչ և կարճալիք ինֆրակարմիր տիրույթներում: $NDSII \geq 0.4$ արժեքները համապատասխանում են ձյանը/սառույցին (Riggs et al., 1994):

Լճի ափագծի փոփոխություն

Հեռագնման տվյալներ: Աշխատանքում օգտագործվել են 1973-2015թթ. համար Landsat MSS, Landsat TM, Landsat 8OLI/TIRS տիեզերական լուսանկարները:

Օժանդակ տվյալներ: 1927-2015թթ. Սևանա լիճ ջրի հոսքի (տեղումներ, գետերով հոսք, Արփա-Սևան թունելով հոսք) և լճից արտահոսքի (գոլորշիացում, Հրազդան գետով հոսք և ջրի բացթողումներ) տվյալները վերցվել են գրականությունից (Պապիկյան, 2011) և «Հիդրոգերևութաբանության և մթնոլորտային երևույթների վրա ակտիվ ներգործության ծառայություն» ՊՈԱԿ-ի հրատարակած ձեռնարկներից (Սևանա լճի հիդրոլոգիական ռեժիմը, 2017): «Սևան» ազգային պարկի կողմից տրամադրվել են լճի ափամերձ տարածքների հողօգտագործման տվյալները: Լճի ափագծերը տարբեր տարիների տիեզերական լուսանկարներից ստացվել են Սքեետերսի (1996) կողմից առաջարկված Նորմավորված տարբերությունների ջրային ինդեքսի (Normalized Differences Water Index – NDWI) կիրառմամբ.

$$NDSII = (Green - NIR) / (Green + NIR) \quad (4),$$

որտեղ Green և NIR ճառագայթումն է համապատասխանաբար կանաչ և մոտակա ինֆրակարմիր տիրույթներում:

Ինդեքսի արժեքները տատանվում են -1-ից 1 տիրույթում, որտեղ 0-ից բարձր արժեքները համապատասխանում են ջրային մակերևույթին, իսկ 0-ից փոքր արժեքները՝ ցամաքին (McFeeters, 1996):

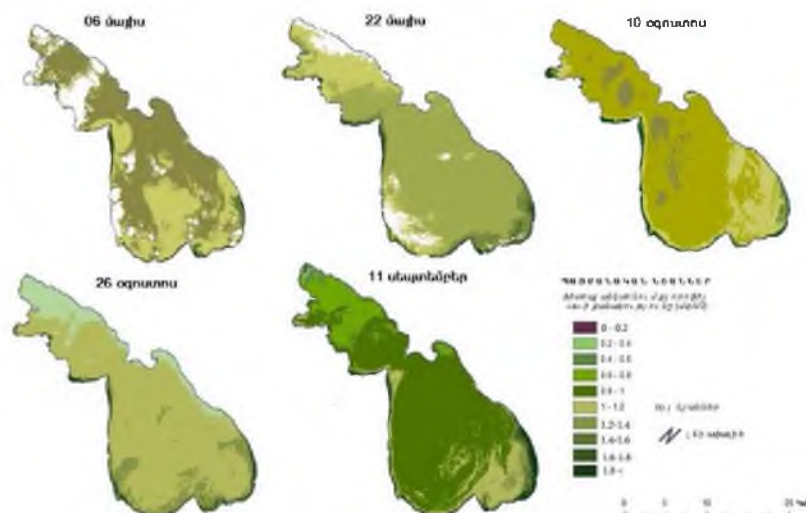
Ստացված ափագծերի ճշտությունը ստուգելու համար NDWI կիրառմամբ ստացված լճի մակերեսի տվյալները համեմատվել են «Հիդրոգերևութաբանության և մթնոլորտային երևույթների վրա ակտիվ ներգործության ծառայություն» ՊՈԱԿ-ի հրատարակած տվյալների հետ (լճի մակերեսը չափվում է ամեն տարվա հունվարի մեկին, իսկ տիեզերական նկարները ընտրվել են այդ ամսաթվին հնարավորինս մոտ):

Ափագծի փոփոխությունները գնահատվել են 1973-2015թթ. միջև ընկած հինգ ժամանակահատվածների համար (1973-1985, 1985-1990, 1990-1995, 1995-2002, 2002-2015): Ափագծերի փոփոխությունների քանակական գնահատման համար կիրառվել է DSAS (Digital Shoreline Analysis System) գործիքը (Himmelstoss, 2009):

Արդյունքների քննարկում

Սևանա լճում ջրի մոտերի ծաղկում/Ֆիտոպլանկտոնում քլորոֆիլ Ը-ի և պլտոքլորոֆիլ: Քլորոֆիլ «α»-ի բաշխման համար բանաձևի կիրառմամբ արբանյակային նկարների վերծանման արդյունքները

ցույց են տալիս, որ 2016թ. մայիսի 6-ին քլորոֆիլ «α»-ի պարունակությունը տատանվել է 0.4-1.8մգ/մ³ տիրույթում, մայիսի 22-ին՝ 0.9-1մգ/մ³ տիրույթում, օգոստոսի 10-ին և 26-ին համապատասխանաբար՝ 0.3-1 և 0.4-1.8մգ/մ³ տիրույթում, սեպտեմբերի 11-ի համար ստացվել են 0.2-1.8մգ/մ³ արժեքները (նկ.1):

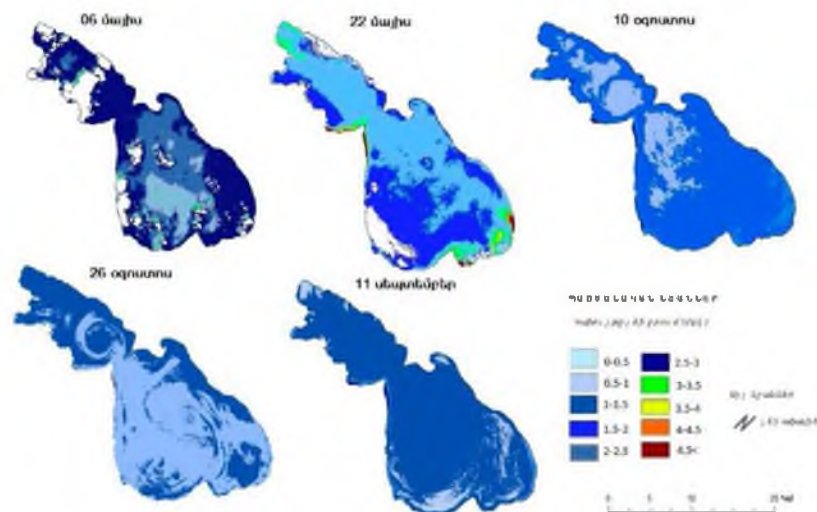


Նկ.1. Սևանա լճի ջրի ծաղկումը՝ ջրում քլորոֆիլի ընդհանուր քանակությամբ արտահայտված մգ/մ³, մայիս, օգոստոս, սեպտեմբեր ամիսներին՝ ըստ LANDSAT 8 OLI արբանյակային լուսանկարի:

Պղտորության/կախված նյութերի կոնցենտրացիայի բանաձևի կիրառմամբ ստացվել են հետևյալ արդյունքները մայիսի 6-ին և 22-ին կախված նյութերի կոնցենտրացիան տատանվել է, համապատասխանաբար, 1-2.5մգ/լ և 1.5-5մգ/լ տիրույթներում: Առավելագույն կոնցենտրացիաները դիտվել են Մասրիկ գետի գետաբերանային հատվածում և Նորատուս թերակղզու ավերի երկայնքով: Օգոստոս ամսվա համար ստացվել են 0.8-2.5մգ/լ և 0.5-4մգ/լ սահմաններում (օգոստոսի 10 և 26 համապատասխանաբար): Սեպտեմբերի 11-ին կախված նյութերի կոնցենտրացիան տատանվել է 0-3.5մգ/լ տիրույթում (նկ.2):

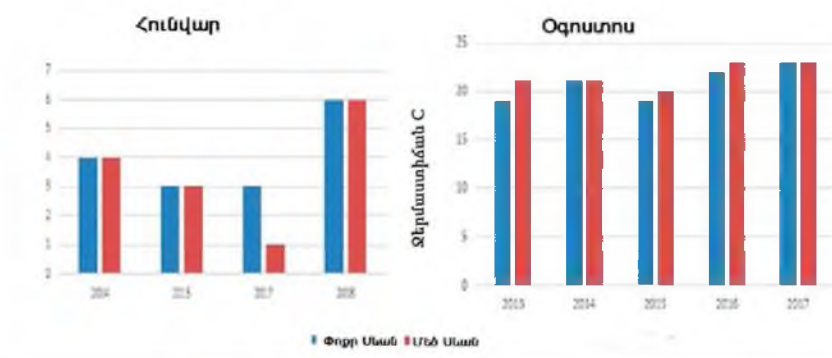
Արբանյակային նկարների վերծանմամբ ստացված տվյալները համադրվել են պղտորության դաշտային չափումների հետ և ստացվել է դետերմինացիոն գործակցի բարձր արժեք ($R^2=0.73$):

Ջրի մակերևութային ջերմաստիճանի տարածաժամանակային փոփոխություն, լճի սառցակալում: Սևանա լճի ջրի ջերմաստիճանի տարածաժամանակային փոփոխության ուսումնասիրության արդյունքները ցույց են տալիս, որ օգոստոս ամսին լճի ջրի մակերևութային ջերմաստիճանը ավերի մոտ ավելի բարձր է քան կենտրոնական հատվածում ինչպես Մեծ, այնպես էլ Փոքր Սևանում: Հունվար ամսին դիտվում է հակառակ պատկերը՝ լճի ավիամերձ հատվածներում ջրի մակերևութային ջերմաստիճանը ավելի ցածր է, քան կենտրոնական հատված-



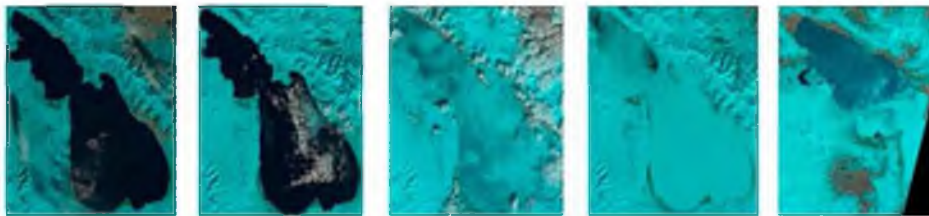
Նկ.2. Սևանա լճի ջրի պղտորությունը՝ ջրում կախված նյութերի ընդհանուր քանակությամբ արտահայտված մգ/լ, մայիս, օգոստոս, սեպտեմբեր ամիսներին՝ ըստ LANDSAT 8 OLI արբանյակային լուսանկարի:

ներում և Փոքր, և Մեծ Սևանի համար: Բացի այդ, տարբեր տարիների նկարներից ստացված արդյունքները ցույց են տալիս, որ ամռանը (օգոստոսին) հիմնականում Փոքր Սևանում ջրի մակերևույթային ջերմաստիճանը ավելի ցածր է համեմատած Մեծ Սևանի հետ, իսկ հունվարին դիտվում է հակառակ պատկերը՝ Մեծ Սևանում ջերմաստիճանը ավելի բարձր է քան Փոքր Սևանում (նկ.3): Սա, պայմանավորված է Փոքր Սևանի, ավելի մեծ խորությամբ, որի պատճառով ջուրն ավելի դանդաղ է տաքանում ամռանը, համեմատած Մեծ Սևանի հետ, իսկ ձմռանը տեղի ունի հակառակ պատկերը՝ Մեծ Սևանում ջուրը ավելի արագ է սառում համեմատած Փոքր Սևանի հետ:



Նկ.3. Փոքր և Մեծ Սևանի հունվար և օգոստոս ամիսների ջրի մակերևույթի միջին ջերմաստիճանների համեմատությունը (ջրի մակերևույթի ջերմաստիճանները ստացվել են Landsat 8 տիեզերական նկարներից):

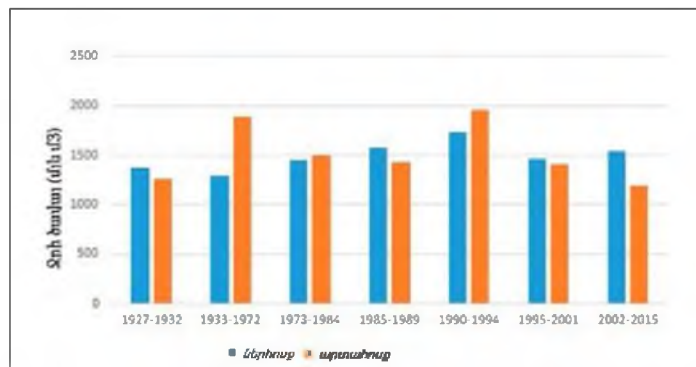
2000-2017թթ. Landsat արբանյակային նկարների վիզուալ վերլուծությունը ցույց է տվել, որ այս ժամանակահատվածում Սևանա լիճը մասամբ սառել է (հիմնականում Մեծ Սևանը) 2000, 2002 և 2007թթ. և ամբողջությամբ սառույցով է պատվել 2008 և 2017թթ.: Մինչև մակարդակի արհեստական իջեցումը Սևանա լիճը սառույցով էր պատվում 15-20 տարին մեկ անգամ (Оганесян, 1996): 2017թ. դիտվել է ուսումնասիրված ժամանակահատվածի (2000-2017թթ.) ամենաերկարատև սառցակալումը: Նկ.4-ից կարելի է տեսնել, որ փետրվարի 2-ին լիճը դեռևս սառած չէ, բայց սկսում է սառել, իսկ արդեն փետրվարի 18-ի նկարի վրա երևում է, որ լիճն ամբողջությամբ պատված է սառույցով: Մարտի 29-ի նկարում լիճը դեռևս սառած է ամբողջությամբ, բայց նկատելի է, որ սառույցը սկսում է հալվել: Հետագա ամպագուրկ նկարների բացակայությունը թույլ չի տալիս մինչև վերջ հետևել սառույցի հալման պրոցեսին:



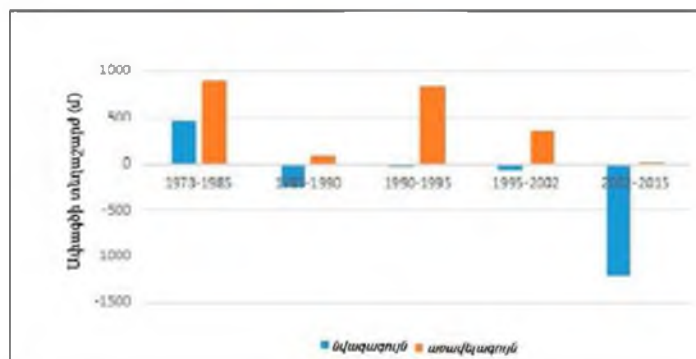
Նկ.4. Սառույցի ձևավորման և հալման ընթացքը Սևանա լճի վրա 2017թ. հունվարի 17-ից մինչև մարտի 29-ը ըստ Landsat 8 տիեզերական լուսանկարների (հունվար 17, փետրվար 2, փետրվար 18, մարտ 22, մարտ 29 ձախից աջ հաջորդականությամբ):

Լճի ափագծի փոփոխություն: 1973-2015թթ. համար NDWI սպեկտրալ ինդեքսի կիրառմամբ վերծանված լճի հայելու մակերեսի հաշվման արդյունքների համեմատությունը «Հիդրոօդերևութաբանության և մթնոլորտային երևույթների վրա ակտիվ ներգործության ծառայություն» ՊՈԱԿ-ի տվյալների հետ ցույց է տալիս բավական մեծ ճշտություն (RMSE=8.15): NDWI կիրառմամբ ստացված ափագծերի, DSAS կիրառմամբ ստացված ափագծերի փոփոխության չափի և ուղղության վերաբերյալ տվյալների համեմատությունը լճում ջրի ներհոսքի և արտահոսքի տվյալների հետ առանձին ժամանակահատվածների համար ցույց է տալիս, որ այն դեպքում, երբ ջրի բալանսը եղել է բացասական, տեղի է ունեցել ափագծի տեղաշարժ դեպի լիճ, իսկ այն դեպքերում, երբ բալանսը եղել է դրական՝ դեպի ցամաք (նկ.5):

Բացի ափագծերի ընդհանուր փոփոխություններից, առանձնացվել են առանձին տեղամասեր՝ 5 տեղամաս, որտեղ փոփոխություններն առավել նկատելի են: Այս տեղամասերում ափագծի փոփոխությունները ցույց են տալիս, որ Սևանա լճի ափամերձ հատվածն ունի բավականին բարդ ռելիեֆ և տարբեր հատվածներում փոփոխությունները տարբեր են՝ կախված ռելիեֆի թեքություններից, ափերի կտրտվածու-



ա

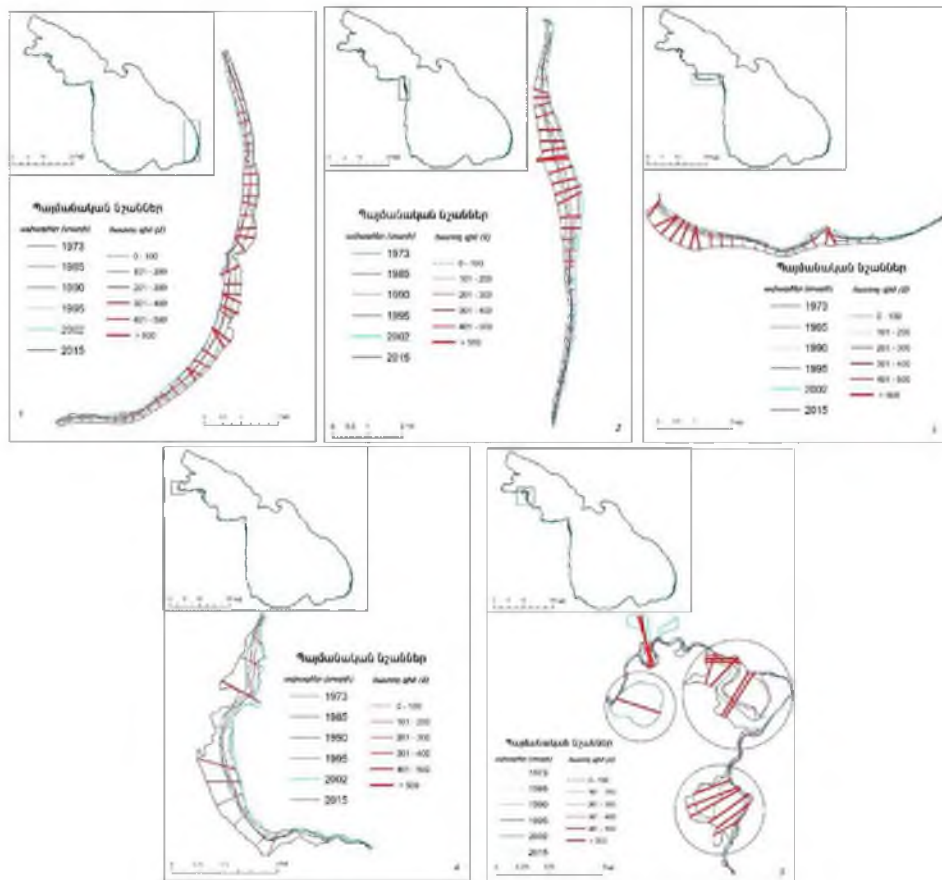


բ

Նկ.5. 1927-2015թթ. Սևանա լճի ջրի բալանսի միջինացված տվյալներ (ա) և յուրաքանչյուր ժամանակահատվածի համար ափագծի փոփոխությունները ըստ DSAS-ի (բ) (4ա նկարի վրա առաջին երկու ժամանակահատվածները 1927-1932 և 1933-1972թթ. ներկայացված են ցույց տալու համար լճում ջրի բալանսը բնական պայմաններում և մակարդակի իջեցման պահից սկսած):

թյունից, իչպես նաև անթրոպոգեն բեռնվածության աստիճանից: Ափագծի այն հատվածներում, որտեղ թեքությունները ավելի փոքր են, ափագիծը զգալի փոփոխության է ենթարկվել, ինչպես օրինակ, Լճաշեն գյուղի, Սևան քաղաքի և Գավառագետ գետի գետաբերաններում իսկ այն հատվածներում, որտեղ թեքություններն ավելի մեծ են, փոփոխությունները համեմատաբար թույլ են արտահայտված, ինչպես օրինակ, Փոքր Սևանի ափերը, որոնք ավելի մեծ թեքություններ ունեն, հատկապես այն հատվածներում, որտեղ ափը եզերվում է Արտանիշի լեռնաշղթայով (նկ.6):

Առանձին տեղամասերում ափագծերի փոփոխության չափը տարբեր է, այսպես տեղամաս 1 և 2-ում ափագիծը տեղաշարժվել է որոշ հատվածներում մինչև 400-500մ-ով, 3-րդ և 4-րդ տեղամասերում նույնպես համանման փոփոխություններ են, բնորոշում, բոլոր 4 հատվածներում ամենամեծ տեղաշարժը դիտվել է 2002-2015 ժամանակահատվածում, ինչը համընկնում է ՀՀ Կառավարության ծրագրի սկզբին ուղղված Սևանա լճի մակարդակի բարձրացմանը: 5-րդ տեղամասում



Նկ.6. Սևանա լիճը և ափագծի առավել արտահայտված փոփոխությունների ենթարկված հատվածները (ըստ ներկայացման հերթականության): Տրված են ափագծերը ըստ տարբեր տարիների և փոփոխությունների չափերի:

պատկերը փոփոխությունները ըստ DSAS-ի առավել մեծ են՝ մոտ 850մ: Սակայն այստեղ ամասը ունի բավականին բարդ «կառուցվածք»: Տեղամասը գտնվում է Նորաշեն արգելոցի տարածքում, որտեղ ռելիեֆը բավականին հարթ է և կան երեք փոքր լճեր (նկարի մեջ վերցված են շրջանակի մեջ), որոնց սահմանագատումը Սևանից ոչ միշտ է հնարավոր տարբերակել տիեզերական նկարի վրա:

Եզրակացություն

Աշխատանքում ներկայացվել են արբանյակային հեռագնման հնարավորությունները Սևանա լճի էկոլոգիական հիմնախնդիրների ուսումնասիրման գործում՝ առանձին գործոնների ուսումնասիրման օրինակով:

Սևանա լճի ջրում քլորոֆիլ «α»-ի՝ արբանյակային լուսանկարների վերծանման կիրառված մոդելը հնարավորություն է տալիս ստանալ

լՃի ջրի ծաղկման տարածաժամանակային փոփոխությունները և կատարել լՃի ծաղկման որակական գնահատում: Քլորոֆիլ «a»-ի բաշխվածության պատկերը ցույց է տալիս, որ քլորոֆիլի քանակը առավել շատ է գետաբերաններին, մասնավորապես Մասրիկ և Գավառագետ գետերի գետաբերաններին և այն հատվածներում, որտեղ ափի ռելիեֆը զառիթափ չէ և ջրի խորությունը համեմատաբար փոքր է: Ուսումնասիրված ժամանակահատվածում լՃի ամբողջ մակերեսով ծաղկումը նվազագույնն է օգոստոս ամսվա առաջին կեսին (11 օգոստոս), իսկ առավելագույնը՝ սեպտեմբերի առաջին կեսին (11 սեպտեմբեր): Ի տարբերություն մայիս ամսվա՝ մնացած ամիսներին լՃի ծաղկումը առավել հավասարաչափ է:

Պղտորության արբանյակային նկարների վերծանման արդյունքում ստացված տվյալների և դաշտային չափումների միջև առկա լավ արտահայտված կորելյացիան ($R^2=0.73$) ցույց է տալիս, որ լուսանկարների վերծանման կիրառված մոդելով հնարավոր է ուսումնասիրել Սևանա լճում պղտորության տարածաժամանակային փոփոխությունները և կատարել էկոլոգիական վիճակի որակական գնահատում: Կախված նյութերի տարածաժամանակային բաշխվածության պատկերից երևում է, որ ուսումնասիրված ժամանակահատվածում մայիս ամսին լՃի ջրի պղտորությունը ավելի մեծ է համեմատած այլ ամիսների հետ, պղտորության առավել բարձր արժեքները մայիս ամսին են (22 մայիս), հիմնականում գետաբերաններին: Հետագա ամիսներին պղտորությունը նվազում է, և բաշխվածությունը դառնում է համեմատաբար համասեռ:

Սևանա լՃի ջրի մակերևույթային ջերմաստիճանի տարածաժամանակային փոփոխությունների արբանյակային նկարների վերծանման արդյունքները հաստատում են լճում ջրի ջերմաստիճանի տարածաժամանակային բաշխման դասական եղանակով ուսումնասիրության արդյունքները:

Սևանա լՃի ջրի սառույցով պատման ուսումնասիրությունը 2000-2017թթ. ցույց է տալիս, որ լիճը մասամբ սառույցով է պատվել 3 անգամ, իսկ ամբողջությամբ՝ 2 անգամ: Մինչև մակարդակի իջեցումը լիճը սառում էր շատ ավելի փոքր հաճախականությամբ (15-20 տարին մեկ): Սա խոսում է այն մասին, որ ջրի մակարդակի իջեցումը և ջրի ծավալի կրճատումը ուղղակիորեն խախտել է լՃի ջրի ջերմային ռեժիմը՝ նվազեցնելով ջերմունակությունը:

NDWI ինդեքսի կիրառմամբ Landsat արբանյակային լուսանկարներից ստացված Սևանա լՃի ափագծերի 1973-2015թթ ժամանակահատվածում փոփոխությունները և լՃի ջրի բալանսի համեմատությունը ցույց է տալիս, որ ափագծի փոփոխությունը անմիջականորեն կախված է լճում ջրի բալանսի փոփոխությունից: DSAS-ի կիրառմամբ հնարավոր է ստանալ ափագծի փոփոխությունների քանակական պատկերը ամենամեծ փոփոխության ենթարկված հատվածներով, փոփոխությունների ուղղությունը և չափը:

Արբանյակային նկարների, NDWI ինդեքսի և DSAS-ի կիրառությունը միասին հնարավոր են դարձնում Սևանա լճի ափագծի փոփոխության պարբերական ուսումնասիրությունը:

Դաշտային տվյալների ավելի մեծ քանակը և ժամանակային շարքը, հնարավորություն կտան մշակել լճի էկոլոգիական վիճակը բնութագրող ցուցանիշների վերծանման մոդելներ հատուկ Սևանա լճի համար, ինչը կմեծացնի ստացված արդյունքների ճշտությունը:

Աշխատանքներն իրականացվել են «Սևանա լճում իշխանի պաշարների վերականգնման եվ ձկնաբուծության զարգացման համալիր ծրագրի շրջանակներում լճի ջրի որակի հեռազննման մոնիթորինգային համակարգի ստեղծման գիտահետազոտական աշխատանքների ծրագրի» և «ՀՀ ԿԳՆ (ԿԳՄՍ) նախարարության Գիտության պետական կոմիտեի և ՌԴ Հիմնարար գիտությունների հիմնադրամի 18RF-140 և RFBR 18-55-05015 Arm-a» նախագծերի շրջանակներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- Ասմաթյան, Շ. 2017. Սևանա լճում իշխանի պաշարների վերականգնման և ձկնաբուծության զարգացման համալիր ծրագրի շրջանակներում լճի ջրի որակի հեռազննման մոնիթորինգային համակարգի ստեղծման գիտահետազոտական աշխատանքների ծրագիր. ՀՀ ԳԱԱ էկոլոգանոսֆերային հետազոտությունների կենտրոն, Երևան, 44 էջ:
- Հայկական ՍՍՀ ֆիզիկական աշխարհագրություն. 1971. ՀՀ ԳԱԱ հրատարակչություն, Երևան, 469 էջ:
- Պապիկյան, Ս. 2011. Սևանի հիմնախնդիրը, Երևան, 22 էջ:
- Սևանա լճի հիդրոլոգիական ռեժիմը, 2017. ՀՀ Արտակարգ իրավիճակների նախարարություն հիդրոոդերնությամբության և մթնոլորտային երևույթների վրա ակտիվ ներգործության ծառայություն, Երևան, 27 էջ:
- Интегральная оценка экологического состояния озера Севан (GEO-LakeSevan). 2011. Ассоциация “За УЧР”/UNEPCom, Ереван, 42 с.
- Оганесян Р. 1996. Озеро Севан вчера, сегодня... Издательство “Титутюн” НАН РА, Ереван, 478 с.
- Agyemang T.K., Schmieder K., Heege T., Heblinski J., Sajadyan H., Vardanyan L., BGcker R. 2009. Reviewing Lake Sevan’s surface area using remote sensing & GIS techniques. SIL Proc. 1922-2010 30, p.1264-1266. <https://doi.org/10.1080/03680770.2009.11923926>
- Bukata, R.P. (Ed.), 1995. Optical properties and remote sensing of inland and coastal waters. CRC Press, Boca Raton, Fla.
- Chao Rodriguez Y., el Anjoumi A., Dominguez Gomez J.A., Rodriguez Perez D., Rico E. 2014. Using Landsat image time series to study a small water body in Northern Spain. Environ. Monit. Assess. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3634-8>
- Dekker A.G., Vos R.J., Peters S.W.M. 2001. Comparison of remote sensing data, model results and in situ data for total suspended matter (TSM) in the southern Frisian lakes. The Science of the Total Environment 268, p.197-214.
- Dlamini S., Nhapi I., Gumbindoga W., Nhwatiwa T., Dube T. 2016. Assessing the feasibility of integrating remote sensing and in-situ measurements in monitoring water quality status of Lake Chivero, Zimbabwe. Phys. Chem. Earth Parts ABC 93, p.2-11. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2016.04.004>
- Dornhofer K., Oppelt N. 2016. Remote sensing for lake research and monitoring - Recent advances. Ecol. Indic. 64, 05-122. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.12.009>
- Heblinski J., Schmieder K., Heege T., Agyemang T.K., Sayadyan H., Vardanyan L. 2011. I high-resolution satellite remote sensing of littoral vegetation of Lake Sevan (Armenia) as a basis for monitoring and assessment. Hydrobiologia 661, p.97-111. <https://doi.org/10.1007/s10750-010-0466-6>

- Heblinski J., Schmieder K., Heege T., Agyemang T.K., Sayadyan H., Vardanyan L.** 2010. Mapping of water constituents in high mountainous Lake Sevan (Armenia). *SIL Proc.* 1922-2010 30, p.1453-1455. <https://doi.org/10.1080/03680770.2009.11902352>
- Himmelstoss E.A.** 2009. "DSAS 4.0 Installation Instructions and User Guide" in: Thielcr, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., and Ergul, Ayhan. 2009 Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 — An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278.
- Hovsepyan A., Muradyan V., Tepanosyan G., Minasyan L., Asmaryan S.** 2018. Studying the Dynamics of Lake Sevan Water Surface Temperature Using LandsatS Satellite Imagery. *Ann. Valahia Univ. Targoviste Geogr. Ser.* 18, p.68-73. <https://doi.org/10.2478/avutgs-2018-0008>
- Hovsepyan A., Tepanosyan G., Muradyan V., Asmaryan S., Medvedev A., Koshkarev A.** 2019. Lake Sevan Shoreline Change Assessment Using Multi- Temporal Landsat Images. *Geogr. Environ. Sustain.* 12, p.212-229. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2019-46>
- Kealy P.S., Hook S.J.** 1993. Separating temperature and emissivity in thermal infrared multispectral scanner data: implications for recovering land surface temperatures. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 31, p.1155-1164. <https://doi.org/10.1109/36.317447>
- Klemas V., Pieterse A.** 2015. Using Remote Sensing to Map and Monitor Water Resources in Arid and Semiarid Regions. in: Younos, T., Parece, T.E. (Eds.), *Advances in Watershed Science and Assessment*. Springer International Publishing, Cham. p.33-60. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14212-8_2
- Kudela R.M., Hooker S.B., Houskeeper H.F., McPherson M.** 2019. The Influence of Signal to Noise Ratio of Legacy Airborne and Satellite Sensors for Simulating Next-Generation Coastal and Inland Water Products. *Remote Sens.* 11, 2071. <https://doi.org/10.3390/rs11182071>
- McFeeters S.K.** 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *Int. J. Remote Sens.* 17, p.1425-1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- Nechad B., Ruddick K.G., Park Y.** 2010. Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of total suspended matter in turbid waters. *Remote Sens. Environ.* 114, p.854-866. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.11.022>
- Park Y.-J., Ruddick K., Lacroix G.** 2010. Detection of algal blooms in European waters based on satellite chlorophyll data from MERIS and MODIS. *Int. J. Remote Sens.* 31, p.6567-6583. <https://doi.org/10.1080/01431161003801369>
- Ren H., Du C., Liu R., Qin Q., Yan G., Li Z.-L., Meng J.** 2014. Noise Evaluation of early images for Landsat 8 Operational Land Imager. *Opt. Express* 22, 27270. <https://doi.org/10.1364/OE.22.027270>
- Richter R., Schlapfer D.** 2019. Atmospheric / Topographic Correction for Satellite Imagery 211.
- Riggs G.A., Hall D.K., Salomonson V.V.** 1994. A snow index for the Landsat Thematic Mapper and Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer. in: *Proceedings of IGARSS '94 - 1994 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Presented at the IGARSS '94 - 1994 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IEEE, Pasadena, CA, USA, p.1942- 1944.* <https://doi.org/10.1109/IGARSS.1994.399618>
- Taravat A., Rajaei M., Emadodin L., Hasheminejad H., Mousavian R., Biniyaz E.** 2016. A Spaceborne Multisensory, Multitemporal Approach to Monitor Water Level and Storage Variations of Lakes. *Water* 8, 478. <https://doi.org/10.3390/w8110478>
- Wang M.** 2005. Estimation of ocean contribution at the MODIS near-infrared wavelengths along the east coast of the U.S.: Two case studies. *Geophys. Res. Lett.* 32, L13606. <https://doi.org/10.1029/2005GL022917>
- Wulder M.A., Loveland T.R., Roy D.P., Crawford C.J., Masek J.G., Woodcock C.E., Allen R.G., Anderson M.C., Belward A.S., Cohen W.B., Dwyer J., Erb A., Gao F., Griffiths P., Helder D., Hermosilla T., Hippie J.D., Hostert P., Hughes M.J., Huntington J., Johnson D.M., Kennedy R., Kilic A., Li Z., Lyburner L., McCorkel J., Pahlevan N., Scambos T.A., Schaaf C., Schott J.R., Sheng Y., Storey J., Vermote E., Vogelmann J., White J.C., Wynne R.H., Zhu Z.** 2019. Current status of Landsat program. science, and applications. *Remote Sens. Environ.* 225, p.127-147. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.015>

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ В ИССЛЕДОВАНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ОЗЕРА СЕВАН

Овсепян А.

Резюме

Озеро Севан является крупнейшим водоемом Армении. Озеро имеет огромную экологическую, экономическую, эстетическую и культурную ценность для Армении. Однако, в основном экономическая деятельность и разнообразные природные факторы повлияли на экологическое состояние озера, вызывая его загрязнение и эвтрофикацию. Для изучения экологических проблем озера необходимы современные методы, с целью получения точной информации о факторах, характеризующих экологическое состояние озера. Спутниковые снимки и технологии дистанционного зондирования дают возможность получать быстрые и периодичные данные для всей площади озера. В статье представлены результаты исследования ряда показателей, характеризующих экологическое состояние озера Севан с использованием данных спутниковых снимков. В частности, были исследованы цветение озера, выраженное общим количеством хлорофилла «а», мутность воды, выраженная общим количеством взвешенных частиц, температурный режим озера, периодичность его замерзания с 2000г. по 2017г., изменение береговой линии, обусловленное изменением водного баланса и уровня воды в озере.

THE POSSIBILITIES OF USING THE SATELLITE IMAGERY WHEN STUDYING ECOLOGICAL ISSUES OF LAKE SEVAN

Hovsepian A.

Abstract

Lake Sevan is the biggest water body in Armenia. The lake has huge ecological, economic, aesthetical and cultural value for Armenia. However, mainly economic activity and various natural factors have affected the ecological state of the lake, causing its pollution and eutrophication. Modern methods are needed to study the ecological problems of the lake in order to get accurate information about the factors characterizing the ecological state of the lake water. Satellite images and remote sensing technologies allow to get fast, regular information for the entire area of the lake. The study presents the results of a study of a number of indicators characterizing the ecological state of Lake Sevan using satellite image data. In particular, the lake water bloom expressed in terms of total chlorophyll content «a», water turbidity expressed in terms of total suspended solids, the thermal regime of the lake, periodicity of freeze-up between 2000 and 2017, the lake shoreline change determined by the water budget and water level change was investigated.

**ԵՐԵՎԱՆ ՔԱՂԱՔԻ ՀՈՂԱԾԱԾԿԻ ՏԱՐԱԾԱԺԱՄԱՆԱԿԱՅԻՆ
ՓՈՓՈԽՈՒԹՅԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ ԱՐԲԱՆՅԱԿԱՅԻՆ
ՀԵՌԱԶՆՆՄԱՆ ՏՎՅԱԼՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՄԱՄԲ**

**Տեփանոսյան Գ. Հ., Հովսեփյան Ա.Ա., Մուրադյան Վ.Ա.,
Ասմարյան Շ.Գ.**

*ՀՀ ԳԱԱ Էկոլոգանոսֆերային հետազոտությունների կենտրոն,
Արշակունյաց 68, 0025 Երևան, Հայաստան
E-mail: . garik.tepanosyan@cens.am
Հանձնված է խմբագրություն 08.06.2020*

Աշխատանքում քննարկվում է 1989-2018 թթ-ին Երևան քաղաքի մակերևույթային ծածկի տարածաժամանակային փոփոխության առանձնահատկությունները՝ վերծանված Landsat արբանյակային լուսանկարներից՝ մեքենայական ուսուցման ալգորիթմների կիրառմամբ: Քաղաքի մակերևույթային ծածկի քարտեզագրման համար ընտրվել են մեքենայական ուսուցման ալգորիթմներից առավել լայն կիրառվող բազմաշերտ պերցեպտրոն՝ ԲՇՊ (MLP-multilayer perceptron), աջակցության վեկտորի դասակարգիչ՝ ԱՎԴ (SVC-support vector classifier) և պատահական անտառ՝ ՊԱ (RF-random forest) մեթոդները: Հետազոտություն արդյունքները ցույց են տալիս, որ արբանյակային լուսանկարների մեքենայացված ուսուցման դասակարգիչներից ԲՇՊ մոդելն իր ցուցանիշներով գերազանցում է դասակարգման մյուս ալգորիթմները: Քաղաքի մակերևույթային ծածկի քարտեզների տարածաժամանակային վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ հետազոտվող ժամանակահատվածում զգալիորեն կրճատվել են Երևան քաղաքի տարածքում գտնվող գյուղատնտեսական հողատարածքները, իսկ քաղաքում դիտվող կառուցապատման տարածական զգալի աճը ընթացել է, գլխավորապես, կանաչ տարածքների հաշվին:

Հանգուցային բառեր՝ քաղաքի մակերևույթային ծածկ, տարածաժամանակային փոփոխություն, արբանյակային հեռազննում, մեքենայական ուսուցման մեթոդներ, լուսանկարների դասակարգում

Ներածություն

Քաղաքների էկոլոգիական հետազոտություններում առանձնահատուկ կարևորություն են ներկայացնում մակերևույթային ծածկի (Land cover) ուսումնասիրությունները, քանի որ վերջինս հնարավորություն է ընձեռում պատկերացում կազմել քաղաքային տարածքի ռացիոնալ կազմակերպման, բազմազանության (urban diversity), ինտենսիվության, հողօգտագործման ձևերի, միկրոկլիմայի, մասնավորապես քա-

դաքում ձևավորվող ջերմային կղզիների երևույթի վերաբերյալ: Մակերևութային ծածկն իրականում արտացոլում է քաղաքի գոտեվորման առկա պատկերը, իսկ վերջինիս տարածաժամանակային փոփոխությունների առանձնահատկությունները հնարավորություն են տալիս նախագծել քաղաքի հետագա զարգացման հեռանկարները (Roustaet al, 2018):

Քաղաքային տարածքների մակերևութային ծածկի քարտեզագրման գործում գրեթե անփոխարինելի են հեռազննման տեխնոլոգիաները՝ իրենց տարածաժամանակային բարձր ճշտության, բազմամյա արխիվային լուսանկարների կայուն շարքի առկայության և այլ հատկությունների շնորհիվ, իսկ քարտեզագրման ժամանակ շատ կարևոր է համապատասխան դասակարգիչների ընտրությունը: Լուսանկարների մշակման մեթոդները տարբեր են և, պետք է նշել, որ հեռազննման տվյալների դասակարգման ժամանակ մեքենայական ուսուցման ալգորիթմների կիրառմամբ ստացված արդյունքները զգալիորեն գերազանցում են պարամետրիկ մեթոդների արդյունքները (Hussam, 2019):

Քաղաքի մակերևութային ծածկի քարտեզագրման համար առավել լայն կիրառվող մեքենայական ուսուցման ալգորիթմներից են բազմաշերտ պերցեպտրոն՝ ԲՇՊ (MLP-multilayer perceptron), աջակցության վեկտորի դասակարգիչ՝ ԱՎԴ (SVC-support vector classifier) և պատահական անտառ ՊԱ (RF-random forest) մեթոդները: ՊԱ-ն կարող է դիտարկվել որպես որոշումների ծառերի համախումբ, որը մեքենայական ուսուցման լայն տարածում ունեցող ալգորիթմ է՝ շնորհիվ դասակարգման բարձր կատարողականության, ընդարձակվելիության և դյուրին օգտագործման: Իսկ համախմբման կամ հավաքական ուսուցման գաղափարը կայանում է հետևյալում՝ միավորել թույլ ուսուցվող շարքերը՝ մեկ ուժեղ դասակարգիչ կառուցելու համար: ԱՎԴ մեթոդի նպատակն է տարածության մեջ գտնել օպտիմալ սահմանները, որոնք առավելագույնի կհասցնեն տարբեր դասերի միջև տարանջատումը: ԲՇՊ-ն հանդիսանում է արհեստական նեյրոնային ցանցի (ANN) ուղղակի բաշխման/տարածման դաս, որը օգտագործում է վերահսկվող ուսուցման տեխնիկան՝ հիմնված հետադարձ տարածման ալգորիթմի վրա (Jozdani et al, 2019; Python Machine Learning, 2016):

Աշխատանքի նպատակն է իրականացնել Երևան քաղաքի մակերևութային ծածկի քարտեզագրում 1989, 2000, 2010, 2018 թվականներին ստացված Landsat արբանյակային նկարների դասակարգմամբ՝ կիրառելով մեքենայական ուսուցման ալգորիթմները և ուսումնասիրել Երևան քաղաքում մակերևութային ծածկի փոփոխությունները այդ ժամանակահատվածներում: Ժամանակահատվածների ընտրությունը պայմանավորված է խորհրդային (80-ական թվականների վերջից), մինչև մեր օրեր քաղաքի փոփոխման առավել ընդգծված փուլերով և այդ փուլերին համապատասխան որակյալ լուսանկարների առկայությամբ:

Նյութեր և մեթոդներ

Հետազոտման օբյեկտ է հանդիսացել Հայաստանի Հանրապետության մայրաքաղաք Երևանը: Քաղաքը զբաղեցնում է 223կմ² տարածք, բնակչությունը 1,1մլն է, ինչը կազմում է երկրի ամբողջ բնակչության 36%-ը և քաղաքային բնակչության 56%-ը (www.armstat.am/hy/09.07.2020):

Երևանը տեղակայված է 860-1300մ բարձրությունների վրա Արարատյան գոգավորությունում, Հրազդան գետի երկու ափերին՝ րնդ-գրկելով Երևանյան գոգավորությունը, Կոտայքի և Եղվարդի հրաբխային, Շոռաղբյուրի գլաքարային և Նուբարաշենի տեղատարումնային սարավանդները(ՀՍՍՀ Ֆիզիկական Աշխարհագրություն, 1971): Կլիման չոր մայրցամաքային է: Տարեկան միջին ջերմաստիճանը 9,1-ից 12,1°C է, մոտ 27°C տարեկան սեզոնային տատանումներով՝ միջին ամառային և միջին ձմեռային ջերմաստիճանների միջև: Տարեկան անձրևային տեղումների քանակը 286-440մմ է՝ նոյեմբերին առավելագույնով: Ջեռուցման սեզոնը տևում է 137-ից 161 օր (Yerevan Green City Action Plan, 2017):

Երևան քաղաքի մակերևույթի ծածկի դասակարգման համար օգտագործվել են Level-1 ճշտության, տարածականորեն շտկված (L1T) Landsat արբանյակային լուսանկարներ չորս ժամանակահատվածների համար. Landsat 5 TM 1989թ.՝ օգոստոսից (Ժամանակահատված 1), Landsat 7 ETM+ 2000թ.՝ օգոստոսի 13-ից (Ժամանակահատված 2), Landsat 5 TM 2010թ. օգոստոսի 1-ից՝ (Ժամանակահատված 3) և Landsat 8 OLI/TIRS 2018թ. օգոստոսի 7-ից (Ժամանակահատված 4) (<http://glovis.usgs.gov>):

Գրանցված միջին քառակուսային շեղումները (RMSE) (ինչպես նկարահանման ուղղությանը զուգահեռ, այնպես էլ ուղղահայաց) հետազոտության մեջ օգտագործված բոլոր լուսանկարների համար եղել են 7մ-ի սահմաններում: Արբանյակային լուսանկարների որակը բարձրացնելու համար իրականացվել են մթնոլորտային և ռադիոմետրիկ ուղղումներ:

Երևան քաղաքի տարածքում առանձնացվել է մակերևույթային ծածկի վեց տիպ (աղ.1): Դասակարգիչների ուսուցման և ստուգման համար նմուշային տարածքները վերցվել են Google Earth հավելվածի բարձր լուծաչափի արբանյակային լուսանկարներից:

Կայուն տարածքներից, որոնք անփոփոխ են մնացել հետազոտման համար ընտրված բոլոր ժամանակահատվածներում վեց տարբեր մակերևույթային տիպերից, առանձնացվել են ուսուցման հատվածներ՝ ընդհանուր առմամբ 126 տեղամասեր (1877 պիքսել) (Մերկ հող - 12 (139 պիքսել), Խոտային ծածկ -11 (56 պիքսել), Բաց տարածք - 17 (254 պիքսել), Ծառածածկ տարածք - 33 (239 պիքսել), Քաղաքային ցանց - 48 (900 պիքսել), Ջրային տարածք - 5 (235 պիքսել)) (աղ.1), և 125 տեղամասեր (2016 տեղամաս)՝ ստուգման համար, իրականացված դա-

սակարգման մեթոդների արդյունավետությունը գնահատելու համար:

Դասակարգման վերոնշյալ բոլոր մոդելներն իրականացվել են ազատ հասանելի «scikit-Learn» գրադարանի կիրառմամբ (Pedregosa et al, 2011), որն առավել հաճախ կիրառվող Python ծրագրավորման լեզվով մեքենայական ուսուցման գրադարանն է: Հիպերպարամետրային օպտիմիզացումը իրականացվել է scikit-learn GridSearchCV մոդուլի կիրառմամբ: Լավագույն գնահատիչները բնութագրվել են՝ հիմնվելով 10-ապատիկ խաչաձև վավերացման (10-fold cross validation) միջին դետերմինացիոն գործակցի (R2) արժեքների վրա:

Օպտիմիզացվել են ՊԱ դասակարգիչի չորս պարամետրեր՝ անտառում ծառերի քանակը, յուրաքանչյուր ծառի մաքսիմալ խորությունը, պահանջվող նմուշների նվազագույն քանակը, որոնք (ա) պետք է լինեն տերևի հանգույցում, (բ) պետք է բաժանեն ներքին հանգույցը:

Աղյուսակ 1

Երևան քաղաքի համար առանձնացված հողածածկի վեց դասերի նկարագրությունը և դասակարգման համար կիրառված ուսուցման տեղամասերի/պիքսելների քանակը

<i>Մակերևութային ծածկի դասեր</i>	<i>Նկարագրություն</i>	<i>Ուսուցման տեղամասերի քանակը</i>
Մերկ հողեր	Տարածքներ, որտեղ հողի վերին շերտը հեռացված կամ խախտված է (այսինքն, շինհրապարակներ, հանքավայրեր)	12
Խոտածածկ տարածքներ	Խոտային բուսականությամբ ծածկված տարածքներ, (սիզամարգեր և ծաղկանոցներ, գյուղատնտեսական տարածքներ, բնական մարգագետիններ)	11
Բաց տարածքներ	Քիչ բուսածածկով կամ բուսազուրկ տարածքներ, քարեր, չոր բուսականություն և այլն	17
Ծառածածկ տարածքներ	Քաղաքային այգիներ, գյուղատնտեսական այգիներ և այլն	33
Քաղաքային կառուցապատում	Քաղաքային կառուցապատման արհեստական ծածկով մակերեսներ (շենքեր, շինություններ, բետոն, ասֆալտ)	48
Ջրային տարածքներ	Լճեր, ջրամբարներ, գետեր	5

Ռադիկալ-բազիսային ֆունկցիայի (RBF-Radial Basis Function) համար երկու հիմնական ԱՎԴ կորիզներն են C-ն և գամման (γ) ($C=100$, $\gamma=100$): C-ն սխալի ժամանակի տուգանային պարամետր է և կիրառվում է սխալ դասակարգման տուգանքը հսկելու համար: Գամ-

ման կարող է ընկալվել/հասկացվել որպես կտրման պարամետր ոչ գծային հիպերհարթությունների համար: Գամմայի փոքրարժեքը բերում է որոշումների ճկուն սահմանների:

ԲՇՊ ալգորիթմի չորս հիմնական կոմպոնենտներն են մուտքային շերտը, թաքնված շերտը, նեյրոնները և ելքային շերտը: ՊԱ-ի հետ համեմատած ԲՇՊ-ի ԱՎԴ մոդելները պահանջում են պարամետրերի ավելի շատ հարմարեցում, ինչը ժամանակատար է և պահանջում է հսկայական հաշվողական ռեսուրսներ (Jozdani et al, 2019, Python Machine Learning, 2016, Maxwell et al, 2018). Մասնավորապես, թաքնված շերտերի թիվը և յուրաքանչյուր շերտում նեյրոնների թիվը օպտիմիզացնելու համար պետք է դիտարկվեն հնարավոր միլիոնավոր համադրումներ:

Այսպիսով, հետազոտության մեջ կիրառվել է ԲՇՊ մոդելի առաջարկված կառուցվածքը (3 թաքնված շերտ և 100 նեյրոն յուրաքանչյուր շերտում), որը ցույց է տալիս լավագույն արդյունքներ և գերազանցում է հեռազննման գերբարձր լուծաչափի լուսանկարներից մակերևույթի ծածկի դասակարգման համար կիրառվող մեքենայական ուսուցման մյուս ալգորիթմները: Կրկնությունների առավելագույն քանակը սահմանվել է 500:

Դասակարգումից հետո իրականացվել է ընդհանրացման վերլուծություն միայնակ պիքսելները հեռացնելու համար, որոնք կարող են հանդիսանալ դասակարգման սխալներ:

Մակերևույթի ծածկի դասակարգման ճշտության գնահատումը իրականացվել է 2018թ-ի համար հաշվարկելով ընդհանուր ճշտությունը (Overall accuracy), ստեղծողի/օգտագործողի ճշտությունները (Producer's/ User's accuracies) և Կապպա գործակիցը (Kappa coefficient) (Choudhury et al, 2019, Dhar et al, 2019, Foody 1992, Ma et al, 1995, Ma et al 1995, Maxwell et al, 2018): Կիրառվել է Կապպա գործակցի հետևյալ դասակարգումը՝ <0.4 արժեքները ներկայացնում են շատ թույլ/թույլ համաձայնություն/համապատասխանություն, $0.4-0.55$ միջակայքում՝ բավարար համաձայնություն, $0.55-0.7$ միջակայքում՝ արժեքները լավ են համաձայնեցված, $0.7-0.85$ միջակայքում՝ շատ լավ, $0.85-0.99$ միջակայքում՝ գերազանց, իսկ >0.99 միջակայքում արժեքները ներկայացնում են կատարյալ համաձայնություն (Monserud et al, 1992):

Արդյունքների քննարկում՝ քաղաքի տարածքի մակերևութային ծածկի դասակարգման ճշտության գնահատում

Մակերևութային ծածկի դասակարգման ճշտության չափանիշները 2018թ. համար ներկայացված են աղ.2-ում: Աղյուսակից երևում է, որ բոլոր մոդելները ցույց են տալիս դասակարգման բարձր ճշտությամբ արդյունքներ: ՊԱ, ԱՎԴ և ԲՇՊ մոդելների կիրառմամբ մակերևութային ծածկի դասակարգման քարտեզները տալիս են դասակարգման համապատասխանաբար շատ լավ և գերազանց ճշտություն

(Monserud et al, 1992): Այդուհանդերձ այս դեպքում լավագույն արդյունք ստացվել է ԲՇՊ մոդելի կիրառմամբ: ԲՇՊ-ի հետ համեմատած ավելի թույլ ճշտությամբ արդյունքներ ստացվել են ԱՎԴ մոդելի դեպքում, իսկ ՊԱ մոդելը ԲՇՊ և ԱՎԴ մոդելների համեմատ տվել է 4%-ով պակաս ճշտություն: Արտադրողի և Օգտագործողի ճշտությունները ցույց են տալիս, որ դասակարգումը մակերևութային ծածկի բոլոր դասերի համար իրականացվել է բարձր ճշտությամբ, բացառությամբ **մերկ հողեր** դասի:

Աղյուսակ 2

Հողածածկի դասակարգման ճշտության ցուցանիշները 2018թ. համար՝
իրականացված ՊԱ, ԱՎԴ և ԲՇՊ ալգորիթմների կիրառմամբ

Հողածածկի դասեր	արտադրողի ճշտություն (%)			կիրառողի ճշտություն (%)			Կապպա գործակից			Ընդհանուր ճշտություն		
	ՊԱ	ԱՎԴ	ԲՇՊ	ՊԱ	ԱՎԴ	ԲՇՊ	ՊԱ	ԱՎԴ	ԲՇՊ	ՊԱ	ԱՎԴ	ԲՇՊ
Մերկ հողեր	60.08	70.72	69.96	69.60	67.88	80.00	0.80	0.85	0.86	86.41	89.93	90.28
Խոտածածկ տարածքներ	91.23	93.86	93.86	92.86	96.40	93.86						
Բաց տարածքներ	79.29	88.46	90.83	83.75	91.44	87.22						
Ծառածածկ տարածքներ	96.39	97.99	97.19	95.24	97.21	97.19						
Քաղաքային կառուցապատում	92.13	92.62	93.01	87.56	92.53	91.39						
Ջրային տարածքներ	100	100	97.22	100	100	94.59						

Չնայած ԲՇՊ ալգորիթմը գերազանցում է ՊԱ և ԱՎԴ ալգորիթմներին դասակարգման ճշտությամբ, այն ավելի բարդ է և պահանջում է հսկայական հաշվողական ռեսուրսներ՝ ուսուցման փուլում հիպերպարամետրիկ հարմարեցման համար (Jozdani et al, 2019): Այսպիսով, հաշվի առնելով դասակարգման ճշտությունների աննշան տարբերությունը ԱՎԴ և ԲՇՊ մոդելների միջև, որոշ դեպքերում (օրինակ, համապատասխան հաշվողական ռեսուրսների բացակայության պայմաններում) ԱՎԴ-ն կարող է նախընտրելի լինել ԲՇՊ-ից:

ԲՇՊ մոդելի կրառմամբ 1989, 2000, 2010 և 2018թթ. համար ստացված/գեներացված Երևան քաղաքի մակերևութային ծածկի քարտեզները ներկայացված են նկ.1-ում:

Հետազոտվող ժամականահատվածում (1989-2018թթ.) տեղի ունեցած մակերևութային ծածկի փոփոխությունները ներկայացված են Աղյուսակներ 3-5-ում, իսկ առավել փոփոխված տեղամասերը պատկերված են նկ.2-ում: Ստորև կքննարկվեն առավել զգալի փոփոխությունները:

Աղյուսակ 3

Մակերևութային ծածկի փոփոխությունը Երևան քաղաքի տարածքում 1989-2000թթ. (կմ²)

		2000թ.					
		Մերկ հողեր	Խոտածածկ տարածքներ	Բաց տա-րածքներ	Ծառածածկ տարածքներ	Քաղաքային կառուցա-պատում	Ջրային տա-րածքներ
1989թ.	Մերկ հողեր	0.00	0.95	4.99	0.17	5.07	0.00
	Խոտածածկ տարածքներ	2.15	0.00	3.16	3.46	2.01	0.01
	Բաց տարածքներ	7.72	6.32	0.00	4.35	4.67	0.01
	Ծառածածկ տարածքներ	0.51	3.77	5.12	0.00	7.00	0.07
	Քաղաքային կառուցապատում	7.14	3.11	6.08	2.05	0.00	0.04
	Ջրային տարածք	0.01	0.00	0.01	0.01	0.05	0.00

Աղյուսակ 4

Մակերևութային ծածկի փոփոխությունը Երևան քաղաքի տարածքում 2000-2010թթ. (կմ²)

		2010թ.					
		Մերկ հողեր	Խոտածածկ տարածքներ	Բաց տա-րածքներ	Ծառածածկ տա-րածքներ	Քաղաքային կառուցա-պատում	Ջրային տարածքներ
2000թ.	Մերկ հողեր	0.00	2.38	8.91	0.41	5.81	0.01
	Խոտածածկ տարածքներ	1.42	0.00	7.87	3.88	2.06	0.01
	Բաց տարածքներ	5.28	2.16	0.00	2.25	5.26	0.04
	Ծառածածկ տարածքներ	0.51	3.77	5.12	0.00	7.00	0.07
	Քաղաքային կառուցապատում	7.14	3.11	6.08	2.05	0.00	0.04
	Ջրային տարածք	0.01	0.00	0.01	0.01	0.05	0.00

Մակերևութային ծածկի փոփոխությունը Երևան քաղաքի
տարածքում 2010-2018թթ. (կմ²)

		2018թ.					
		Մերկ կ հող եր	Նոստած ածկ տարածք ներ	Բաց տարածք ներ	Ծառածա ծկ տարածք ներ	Քաղաքային կառուցապա տում	Ջրային տարածք ներ
2010 թ	Մերկ հողեր	0.00	0.99	7.24	0.08	6.89	0.00
	Նոստածածկ տարածքներ	1.39	0.00	4.16	1.07	3.86	0.01
	Բաց տարածքներ	4.61	2.13	0.00	1.09	6.79	0.03
	Ծառածածկ տարածքներ	0.36	2.87	4.26	0.00	6.85	0.04
	Քաղաքային կառուցապա տում	2.98	0.46	3.18	0.87	0.00	0.04
	Ջրային տարածք	0.00	0.00	0.01	0.09	0.07	0.00

«Մերկ հողեր - Բաց տարածքներ» և «Բաց տարածքներ - Մերկ հողեր» փոփոխությունները հիմնականում արտահայտվել են քաղաքի հարավ-արևելյան և հյուսիս-արևմտյան հատվածներում (նկ.2): Դրանք հիմնականում արդյունաբերական/հանքարդյունաբերական և ամայի տարածքներ են, որտեղ մակերևութի ծածկի նշված վերափոխումներ անթրոպոգեն գործունեության արդյունք են: Երրորդ ժամանակահատվածում նույնպես «Բաց տարածք-Մերկ հող» փոփոխություններ են տեղի ունեցել քաղաքի գյուղատնտեսական տարածքներում (նկ.2, պոլիգոններ 3,4,8 և 6): (Միլիկյան-Տիշինա թաղամասերի միջև բնկած մշակովի այգիներում, Դալմայի այգիներում, Բսակովի փողոցին հարող հատվածում)՝ կապված շինարարական աշխատանքների հետ:

Մակերևութային ծածկի առանձին դասերի վերափոխումը Քաղաքային կառուցապատման 1989-2000թթ. ժամանակահատվածում արտահայտվում է 2 ձևով՝ (i) մեծ բնակարանային համալիրների կառուցում (≈ 5 կմ²), (ii) մասնավոր տների կառուցում (≈ 7 կմ²): Խորհրդային շրջանում՝ 1980-ական թվականների կեսերին սկսվում է մեծ բնակարանային համալիրների կառուցում, ինչպես օրինակ Դավիթաշեն, Նորաշեն, Նոր Նորքի 9-րդ և 8-րդ միկրոշրջաններ (նկ.2, պոլիգոններ 9, 10/11, 12 համապատասխանաբար), որոնք շահագործման են հանձնվում 1990-ականներին՝ Խորհրդային Միության փլուզուման տարիներին և հետո: Էներգետիկ ճգնաժամով պայմանավորված Ծառածակ տարածքների կորստին 1990-ականների սկզբերին հաջորդեց

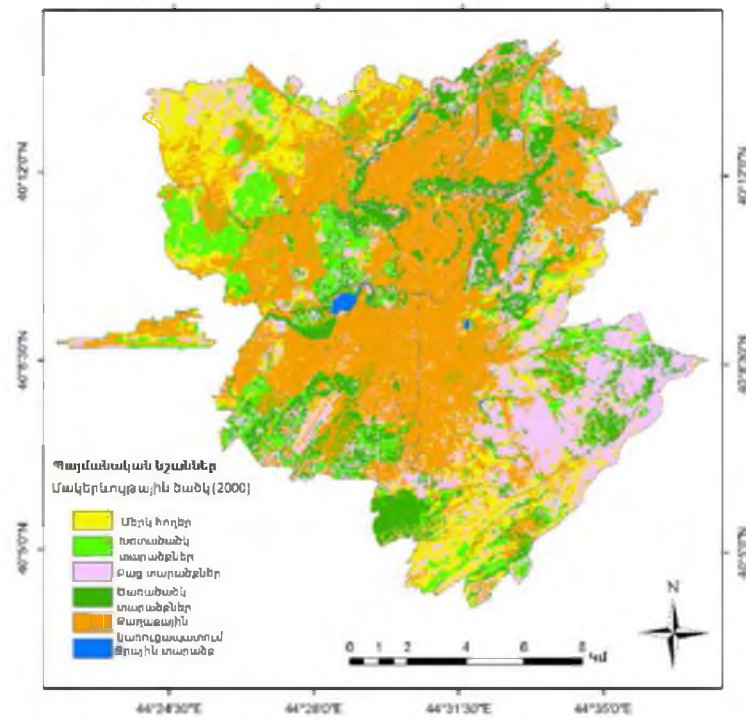
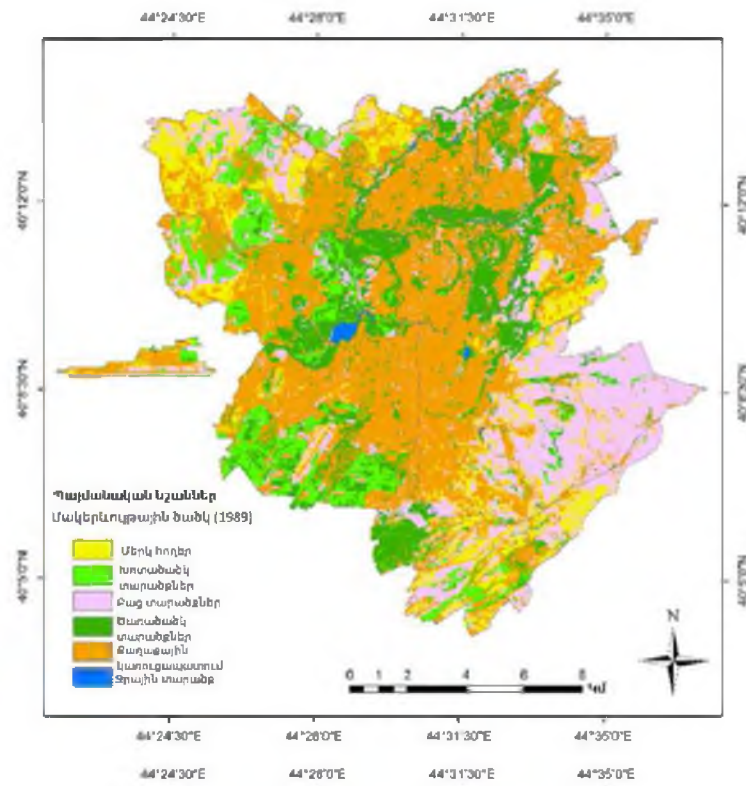
այս տարածքների որոշ մասերում մասնավոր տների կառուցումը: Բացի այդ, Ծառածածկ տարածքներ կրճատվել են նաև շինարարական նպատակներով (<https://www.yerevan.am/en/yerevan-green-city-action-plan/>):

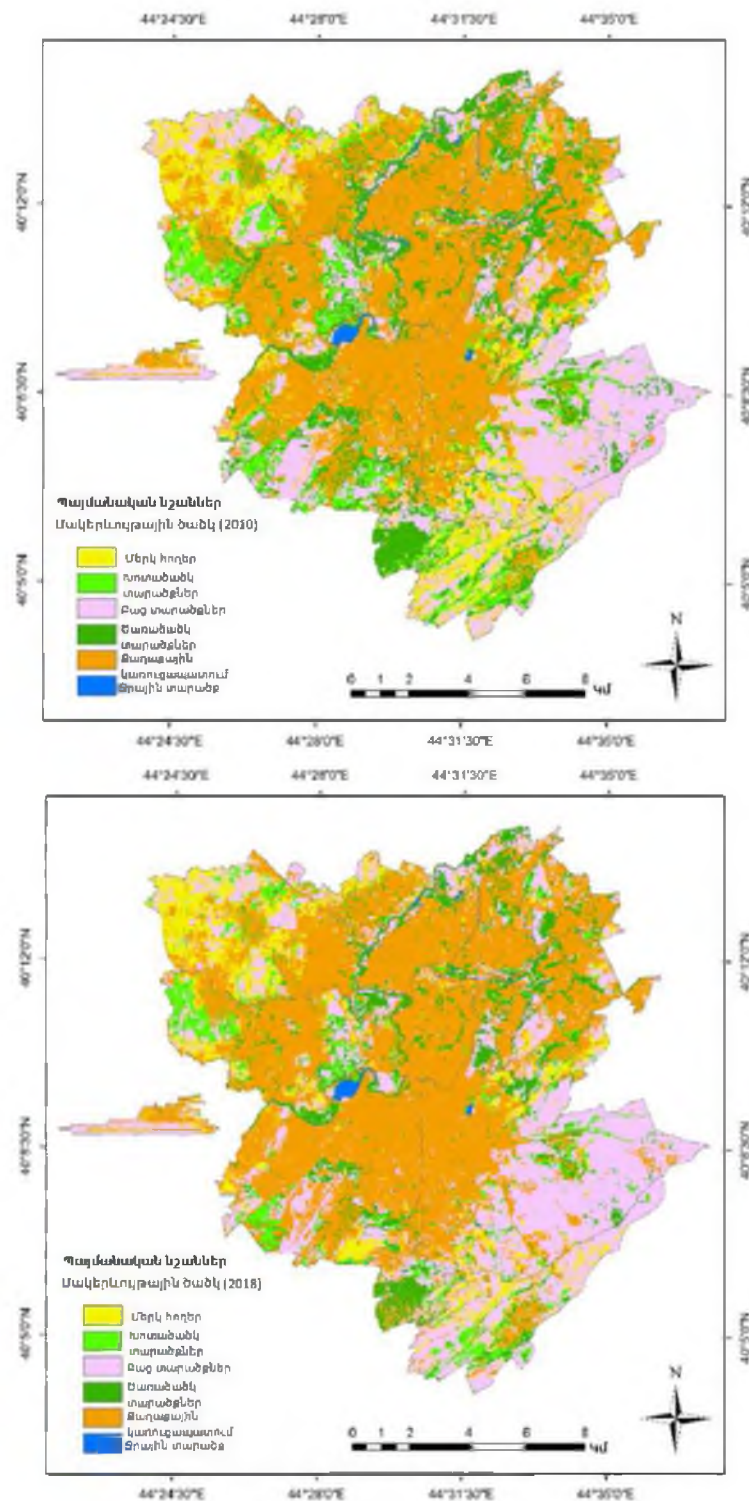
2000-2010թթ. և 2010-2018թթ. ժամանակահատվածներում մակերևութային ծածկի մյուս դասերի վերափոխումը «Քաղաքային կառուցապատման» դասի հիմնականում տեղի է ունեցել «Խոտածածկ տարածքների» և «Ծառածածկ տարածքների» հաշվին: 2000-2010թթ. ժամանակահատվածում «Ծառածածկ տարածքների» վերափոխումը «Քաղաքային կառուցապատման» պակաս ինտենսիվ է ($\approx 2կմ^2$) և հիմնականում դիտվել է Անտառային փողոցին հարող գոտում (նկ.2, պոլիգոն 13) պայմանավորված նոր բնակարանային համալիրի կառուցմամբ, և մասնավոր տների կառուցմամբ՝ ցրված Նորք-Մարաշ և Նոր-Նորք բնակելի հատվածներում (նկ.2, պոլիգոն 14): 2010-2018թթ. ժամանակահատվածի ընթացքում այս տրանսֆորմացիան ցրված է ամբողջ քաղաքում՝ առանձին փոքր տարածքների, հատկապես մասնավոր տների տեսքով: Սա կարող է պայմանավորված լինել այդ տեղամասերում տների (վերա)կառուցմամբ, ինչպես նաև տնամերձ այգիների անխնամ վիճակով, որը բերում է արբանյակային լուսանկարի վրա պիքսելի սպեկտրի փոփոխության: Իսկ լուսանկարից ստացված Քաղաքային կառուցապատման փոփոխությունը մակերևութային ծածկի այլ տիպերի ենթադրվում է, որ սխալ դասակարգման արդյունք է:

Ընդհանուր առմամբ, 1989-2000թթ. ժամանակահատվածում նկատվում է քաղաքում գյուղատնտեսական գործունեության ակտիվացում: Սա կարող է բացատրվել տվյալ ժամանակահատվածի սոցիալ-տնտեսական պայմաններով, երբ տնտեսական ճգնաժամի պատճառով մայրաքաղաքում մարդիկ ստիպված էին զբաղվել գյուղատնտեսությամբ:

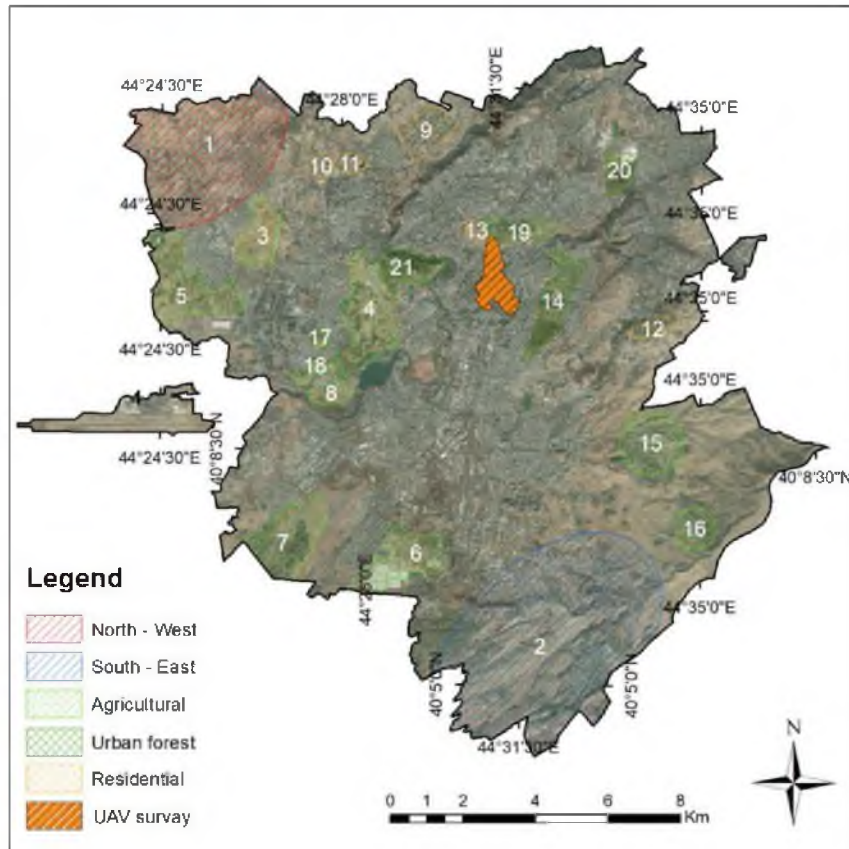
Բաց տարածքներից դեպի Խոտածածկ տարածքներ ինտենսիվ տրանսֆորմացիա տեղի է ունեցել միայն 1989-2000թթ. ($\approx 6կմ^2$) և հիմնականում գյուղատնտեսական տարածքներում է: Պետք է նշել, որ 1989-2000թթ. ժամանակահատվածի ընթացքում Երևան քաղաքի արևելյան հատվածում ի հայտ են եկել գյուղատնտեսական մշակովի տարածքներ (նկ.2, պոլիգոն 15 և 16): Սրանով պայմանավորված, այս հատվածներում Բաց տարածքները վերափոխվել են ոչ միայն Խոտածածկ տարածքների, այլ նաև Ծառածածկ տարածքների ($\approx 4կմ^2$):

«Ծառածածկ տարածքներ - Բաց տարածքներ» վերափոխումը գրեթե նույն ինտենսիվությամբ (աղ.3-5) տեղի է ունեցել հետազոտված ամբողջ ժամանակահատվածում, ինչպես քաղաքային անտառների տարածքներում (նկ.2, պոլիգոններ 14, 17, 18, 19, 20 և 21) (Փարոսի բլուրներ, Քաղաքի հյուսիսում Հաղթանակի զբոսայգուն հարող հատվածից Նորք-Մարաշ, Բուսաբանական այգի, Ծիծեռնակաբերդի բլուր), այնպես էլ գյուղատնտեսական հողերում (նկ.2, պոլիգոններ 4, 8 և 6)





Նկ.1. Երևան քաղաքի 1989, 2000, 2010 և 2018 թթ. մակերևութային ծածկի քարտեզները ստացված Landsat արբանյակային լուսանկարներից ԲՇՊ մոդելի կիրառմամբ:



Նկ. 2. 1989-2018 թթ-երևան քաղաքի մակերևութային ծածկի առավել փոփոխությունների ենթարկված հատվածները:

(Դալմայի այգիներ, Երևանյան լճից դեպի Արարատյան դաշտ բնկած հատված, Սպայկայի ջերմոցների տարածքներ):

Եզրակացություններ

Հետազոտության արդյունքները ցույց են տալիս, որ.

- Արբանյակային լուսանկարների մեքենայացված ուսուցման դասակարգիչներից ԲՇՊ մոդելն իր ցուցանիշներով գերազանցում է դասակարգման մյուս ալգորիթմները, իսկ ԱՎԴ մոդելը դրսևորում է կիրառման ճշտության աննշան ցածր տարբերություն ԲՇՊ մոդելի հետ համեմատյալ և տալիս է գրեթե նույն արդյունքները: Այդուհանդերձ, որոշ դեպքերում ԱՎԴ դասակարգման ալգորիթմը իր պարզությամբ կարող է երբեմն նախընտրելի լինել ԲՇՊ ալգորիթմից:
- Քաղաքային մակերևութային ծածկի փոփոխության վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ 2000-2010 և 2010-2018 ժամանակահատվածներում Երևան քաղաքի տարածքում գտնվող գյուղատնտեսական հողատարածքներ զգալիորեն կրճատվել են: Գյուղատնտեսական գործունեության ինտենսիվացում նկատվել է միայն 1989-2000 ժամանակահատվածում, որը կարող է բացատրվել երկրում առկա սոցիալ տնտեսական ճգնաժամով: 1989-2018թթ ժամանակահատվածներում նկատվում է քաղաքային կառուցապատման տարածական աճ՝ գլխավորապես կանաչ տարածքների հաշվին:
- Մակերևութի ծածկի «Քաղաքային կառուցապատում, Մերկ հող և Բաց տարածք» տիպերն ունեն նմանություններ և դրանով պայմանավորված դասակարգման բոլոր մոդելները “տուժում են” Landsat արբանյակային նկարների վրա դրանք տարբերակելիս:

Հետազոտությունն իրականացվել է ՀՀ ԿԳՆ գիտության պետական կոմիտեի տրամադրած ֆինանսավորմամբ՝ 18T-1E085 ծածկագրով գիտական թեմայի շրջանակներում:

Գրականություն

- ՀՍՍՀ Ֆիզիկական Աշխարհագրություն. 1971. ՀՍՍՀ Գիտությունների Ակադեմիայի հրատ., Երևան, 469էջ.
- Ang Kean Hua, Ping Owi Wei. 2018. The influence of land-use/land-cover changes on land surface temperature: a case study of Kuala Lumpur metropolitan city. *European Journal of Remote Sensing*, Vol. 51, Issue 1, 1049-1069, <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1542976>.
- Choudhury D., Das K., Das A. 2019. Assessment of land use land cover changes and its impact on variations of land surface temperature in Asansol-Durgapur Development Region. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, vol, 22, issue 2, p.203-218, <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.05.004>
- Dhar R.B., Chakraborty S., Chattopadhyay R. et al. 2019. Impact of Land-Use/Land-Cover Change on Land Surface Temperature Using Satellite Data: A Case Study of Rajarhat Block,

- North 24-Parganas District, West Bengal. *J Indian Soc Remote Sens* 47, p.331–348. <https://doi.org/10.1007/s12524-019-00939-1>
- Foody G.M.** 1992. On the compensation for chance agreement in image classification accuracy assessment. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 58, p.1459-1460
- Hussam Al-Bilbisi.** 2019. Spatial Monitoring of Urban Expansion Using Satellite Remote Sensing Images: A Case Study of Amman City, Jordan, *Sustainability* 11(8):2260, DOI:10.3390/su11082260
- Jozdani Shahab Eddin, Johnson Brian Alan and Chen Dongmei.** 2019. Comparing Deep Neural Networks, Ensemble Classifiers, and Support Vector Machine Algorithms for Object-Based Urban Land Use/Land Cover Classification. *Remote Sens.* 11, 1713; doi:10.3390/rs11141713
- Ma Zhenkui, Redmond Roland L.** 1995. Tau coefficients for accuracy assessment of classification of remote sensing data. *Geography*, DOI:10.1007/s12601-015-0032-2
- Maxwell A., Warner A., Fang F.** 2018. Implementation of machine learning classification in remote sensing an applied review. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 39, Issue 9, p.2784–2817, <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1433343>
- Monserud R.A., Leemans R.** 1992. Comparing global vegetation maps with the Kappa statistic Ecological Modelling. vol. 62, issue 4, 275-293, [https://doi.org/10.1016/0304-3800\(92\)90003-W](https://doi.org/10.1016/0304-3800(92)90003-W)
- Pal S., Ziaul Sk.** 2017. Detection of land use and land cover change and land surface temperature in English Bazar urban centre. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, Vol. 20, Issue 1, 125-145, <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.11.003>.
- Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V.** 2011. Scikit-learn: Machine Learning in Python. *J. Mach. Learn. Res.*, 12, p.2825–2830.
- Python Machine Learning** 2016. Packt Publishing, 425p.
- Rousta I., Sarif M.O., Gupta R.D., Olafsson H., Ranagalage M., Murayama Y., Zhang H., and Mushore T.D.** 2018. Spatiotemporal Analysis of Land Use/Land Cover and Its Effects on Surface Urban Heat Island Using Landsat Data: A Case Study of Metropolitan City Tehran (1988–2018). *Sustainability*, 10(12), 4433; <https://doi.org/10.3390/su10124433>
- Yerevan Green city action plan** 2017. 203p., <https://www.yerevan.am/en/yerevan-green-city-action-plan/>

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРОВА ГОРОДА ЕРЕВАНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ДАННЫХ СПУТНИКОВОГО ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Тепаносян Г., Овсепян А., Мурадян В., Асмарян Ш.

Резюме

В статье рассматриваются особенности пространственно-временного изменения земельного покрова города Еревана в период 1989-2018 гг., дешифрованные со спутниковых снимков Landsat - с использованием алгоритмов машинного обучения. Для картографирования земельного покрова города были выбраны наиболее широко используемые алгоритмы машинного обучения: методы многослойного перцептрона МСП, (MLP-multilayerperceptron), опорных векторов-МОВ (SVC-supportvectorelassifier) и случайный лес-СЛ (RF-randomforest). Результаты исследования показали, что из классификаторов машинного обучения спутниковых снимков, результаты, полученные методом МСП превосходят результаты других

алгоритмов классификации. Пространственно-временной анализ карт земельного покрова города показывает, что сельскохозяйственные угодья в Ереване были значительно сокращены в течение периода исследования, а пространственный рост городских застроенных территорий в значительной степени произошёл за счёт зон зелёных насаждений.

STUDY OF SPATIO-TEMPORAL CHANGES IN YEREVAN'S LAND COVER USING SATELLITE REMOTE SENSING DATA

Tepanosyan G., Hovsepyan A., Muradyan V., Asmaryan Sh.

Abstract

The article considers specificities of a spatio-temporal change in Yerevan's land cover between 1989 and 2018, classified from Landsat satellite images using machine learning algorithms. To map the city land cover, this research chose the most widely used machine learning algorithms: MLP-multilayer perceptron, SVC- support vector classifier and RF- random forest methods. As established, the results obtained by MLP method outperformed those obtained using other satellite imagery machine learning classifiers. A spatio-temporal analysis of the city land cover maps has indicated that agricultural areas in Yerevan were significantly reduced during the period of the analysis and the spatial growth of urban built-up areas occurred mostly at the expense of green zones.

ՀԻՇԱՐԺԱՆ ՏԱՐԵԹՎԵՐ

**ԷԴՈՒԱՐԴ ԱԲԵԼԻ ԽԱՉԱՏՈՒՐՅԱՆ
(ծննդյան 100-ամյակին)***



2020թ. հունիսի 2-ին լրացավ երկրաբանա-միներալոգիական գիտությունների դոկտոր, պրոֆեսոր Էդուարդ Աբելի Խաչատուրյանի ծննդյան 100-ամյակը: Նա ծնվել է Թբիլիսիում, 1937թ. ուսանել է Երևանի պետական համալսարանի երկրաբանա-աշխարհագրական ֆակուլտետում, ապա շարունակել ուսումը Թբիլիսիի պետական համալսարանում, որն ավարտել է 1941թ. նոյեմբերին:

1943թ.-ից մինչև իր վախճանը (1982 թ.) Է.Ա.Խաչատուրյանի գիտական գործունեությունը կապված էր Հայաստանի գիտությունների Ակադեմիայի Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտի (ԵԳԻ) հետ, որտեղ նա անցավ կրտսեր գիտական աշխատողի, ինստիտուտի գիտ. քարտուղարի, ավագ գիտական աշխատողի, Օգտակար հանածոների բաժնի վարիչի ուղին:

Է.Ա.Խաչատուրյանի գիտական գործունեության սկիզբը կապված էր Հայաստանի երկաթի հանքավայրերի ուսումնասիրության հետ, որի արդյունքները հիմք հանդիսացան նրա թեկնածուականատենախոսության (1950թ.), ապա “Генетические типы железорудных месторождений Армянской ССР и перспективы их освоения” (1953թ.) մենագրության համար, մենագրություն, որն առաջինն էր Հայաստանի երկաթի հանքավայրերի մասին:

1955թ.-ից սկիզբ է առնում Է.Ա.Խաչատուրյանի գիտական գործունեության նոր կարևոր փուլ, որը շարունակվեց մինչև նրա կյանքի վերջի տարիները և վերաբերում էր հրաքարային ֆորմացիայի հանքավայրերի երկրաբանությանը, միներալաբանությանը, երկրաքիմիային:

Առաջին անգամ նրա կողմից որոշվեցին և նկարագրվեցին մի շարք հազվագյուտ միներալներ, այդ թվում սուլֆիդներ, սուլֆատներ, տելու-

* Հիմք է հանդիսացել Զ.Ա.Хачатурян (к 60-летию со дня рождения) “Изв. АН АрмССР, Науки о Земле”, 1980, N 3, с. 82-86, հոդվածը:

րիդներ, նշվեցին պղինձ-հրաքարային, հրաքարա-բազմամետաղային հանքավայրերի առաջացման և տեղաբաշխման հիմնական օրինաչափությունները: Այդ հետազոտությունները ամփոփվեցին նրա դոկտորական ատենախոսությունում (1969թ.), որը 1977թ. լույս տեսավ “Минералогия, геохимия и генезис руд колчеданной формации Армянской ССР” մենագրության տեսքով: Հարկ է նշել Է.Ա.Խաչատուրյանի աշխատանքների կարևոր առանձնահատկությունը՝ նրանք, ինչպես օրենք, ավարտվում էին հետագա որոնողա-հետախուզական աշխատանքների հանձնարարականներով:

1957թ.-ից ղեկավարելով ԵԳԻ Օգտակար հանածոների բաժինը նա մեծ ուշադրություն էր դարձնում երիտասարդ գիտական կադրերի պատրաստմանը, որոնց շնորհիվ հետագայում կատարվեցին բազմակողմանի ուսումնասիրություններ հրաքարային օգտակար հանածոների առաջացման տարբեր ասպեկտների վերաբերյալ: 1970-ական թվականներին Կապանի հանքային շրջանում Է.Ա.Խաչատուրյանի ղեկավարությամբ կատարված համապարփակ հետազոտությունների արդյունքում պարզաբանվեցին մագմատիկ և մետասոմատիկ առաջացումների առանձնահատկությունները, հանքայնացման նյութական կազմը, տեղաբաշխման երկրաբանա-կառուցվածքային առանձնահատկությունները, կազմվեց նոր երկրաբանական քարտեզ, արտադրական կազմակերպություններին առաջարկվեցին կոնկրետ հեռանկարային տեղամասեր որոնողա-հետախուզական աշխատանքների իրականացման համար:

Է.Ա.Խաչատուրյանը ջանում էր ավելի սերտ համագործակցություն իրականացնել ՀՍՍՀ Երկրաբանական վարչության հետ, անմիջականորեն արձագանքել արտադրական կազմակերպություններին հուզող հարցերին:

Ղեկավարելով բաժնի երիտասարդ գիտաշխատողների կոլեկտիվը՝ նա մեծ ուշադրությամբ էր վերաբերվում նրանց առաջարկություններին և մտահաղացումներին, համատեղ քննարկումներ էր կազմակերպում վիճելի հարցերի մասին՝ նպատակ ունենալով հանգել ընդունելի տարբերակի:

Է.Ա.Խաչատուրյանը մի շարք տարիներ դասավանդել է «Միներալոգիա» և «Օգտակար հանածոների արդյունաբերական տիպերի հանքավայրեր» առարկաները Երևանի պետական համալսարանում և Երևանի պոլիտեխնիկական ինստիտուտում: 1971թ. նրան շնորհվեց պրոֆեսորի կոչում:

Է.Ա.Խաչատուրյանը համահեղինակ էր ակադ. Հ.Գ.Մադաթյանի ղեկավարությամբ կազմված “Прогнозно-металлогеническая карта Армянской ССР” քարտեզի: Նա ակտիվ մասնակից էր Հայաստանի և Բուլղարիայի հանքային ֆորմացիաների համեմատական ուսումնասիրությունների աշխատանքներին: Է.Ա.Խաչատուրյանը շուրջ 90 գիտական աշխատանքների հեղինակ և համահեղինակ էր, այդ թվում “Рассеянные металлы в рудах Армянской ССР” (1966г.), “Металлические

полезные ископаемые” (1967г.), “Алавердский рудный район” (1968г.): Նա հեղինակ էր հայերեն լեզվով տպագրված ՀՍՍՀ օգտակար հանածոներին նվիրված գիտա-հանրամատչելի գրքի:

Է.Ա.Խաչատուրյանը իրեն բնորոշ պատասխանատվությամբ և ջանասիրությամբ կատարում էր բազմաթիվ և տարաբնույթ հասարակական աշխատանքներ: 1971-1975թթ. նա «ՀՍՍՀ ԳԱ Տեղեկագիր Գիտություններ Երկրի մասին» հանդեսի պատասխանատու խմբագիրն էր, ՀՍՍՀ Պետական մրցանակների շնորհման գիտության ոլորտի երկրաբանա-լեռնային սեկցիայի, Բնության պաշտպանության հանրապետական խորհրդի, Երևանի պետական համալսարանի երկրաբանական ֆակուլտետի գիտ.խորհրդի, Երևանի պետական համալսարանի գիտական աստիճաններ շնորհման մասնագիտացված գիտ.խորհրդի, ՀՍՍՀ Երկրաբանական վարչության օգտակար հանածոների հաշվարկման մշտական հանձնաժողովի և մի շարք այլ հանձնաժողովների անդամ էր:

Է.Ա.Խաչատուրյանը մասնակից էր բազմաթիվ միջազգային, համամիութենական, հանրապետական գիտաժողովների պատշաճ ներկայացնելով Հայաստանի երկրաբանության նվաճումները: 1969թ. նա րնտրվեց Օգտակար հանածոների զենեգիսի միջազգային ասոցիացիայի (IAGOD) անդամ: Նկատի ունենալով Է.Ա.Խաչատուրյանի բազմամյա գիտական նվաճումները՝ նա պարգևատրվեց “За трудовую доблесть” մեդալով և ՀՍՍՀ ԳԱ Նախագահության «Վաստակագիր»-ով: Է.Ա.Խաչատուրյանը հետաքրքիր մտահաղացումներ ուներ հետագա համատեղ հետազոտությունների վերաբերյալ Ռուսաստանի, Վրաստանի, Ադրբեջանի, Ուկրաինայի, Բուլղարիայի գիտնականների հետ, որոնք վերաբերվում էին հրաքարային և հրաքարա-բազմամետաղային հանքավայրերի առաջացման և տեղաբաշխման հարցերի տարբեր ասպեկտներին, սակայն 1982թ. ապրիլին նա հանկարծամահ եղավ 62 տարեկան հասակում:

Է.Ա.Խաչատուրյանի մասին այս հակիրճ ակնարկի հիմնական նպատակն էր ծանոթացնել ինստիտուտի երիտասարդ գիտաշխատողներին ԵԳԻ երախատավորներից մեկի՝ Է.Ա.Խաչատուրյանի բազմակողմանի գործունեության հետ, որը իր կյանքը անվերապահորեն նվիրաբերեց երկրաբանական գիտությանը:

ՀՀ ԳԱԱ թղթ.անդամ
Ռ.Մելքոնյան

**ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԵՐԿՐԱԲԱՆՆԵՐԸ
ՀԱՅՐԵՆԱԿԱՆ ՄԵԾ ՊԱՏԵՐԱԶՄԻ ՏԱՐԻՆԵՐԻՆ
(Հաղթանակի 75-ամյակին)**

Գրիգորյան Գ.Ռ., Պողոսյան Ն.Յ., Դավթյան Ռ.Ս.

*ՀՀ ԳԱԱ ԵԳԻ, Երևան, Բաղրամյան 24,
E-mail: gayane347@gmail.com
Հանձնված է խմբագրություն*

Հոդվածում անդրադարձ է կատարվել ՀՀ ԳԱԱ Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտի (ԵԳԻ) գիտնականների և Երևանի պետական համալսարանի (ԵՊՀ) դասախոսների մարտական ծառայություններին Հայրենական մեծ պատերազմի տարիներին և նրանց հայրենանվեր զործունեությանը թիկունքում: Տվյալները հավաքագրվել են արխիվներից, անձնական զործերից, հարազատներից:

Հանգուցային բառեր. Հայ երկրաբաններ, Հայրենական մեծ պատերազմ, ռազմաճակատ, ՀՍՍՀ վաստակավոր երկրաբան, պատերազմից հետո:

ԱՐԴԱՄՅԱՆ ՀԱՅԿԱԶ ԻՍԱՀԱԿԻ (1914-1999): Ծնվել է 1914թ. օգոստոսի 23-ին Լեռնային Ղարաբաղի Մարտակերտի շրջանի Մաղավուզ գյուղում:

1936թ., ընդունվել է ԵՊՀ աշխարհա-երկրաբանական ֆակուլտետը, որն ավարտել է 1941թ.: Երբ սկսվել է Հայրենական մեծ պատերազմը, Հ. Ադամյանը որպես կադրային ծառայություն անցած զինվոր, անմիջապես ուղարկվել է ռազմաճակատ: 1942-1943թթ. մարտնչել է Հյուսիսային Կովկասի ռազմաճակատում ու 409-րդ դիվիզիայի կազմում մասնակցել է Մոզդոկի և մյուս քաղաքների ազատագրման համար մղվող մարտերին: Պարգևատրվել է մի շարք մեդալներով: 1945թ. Հ.Ադամյանը զորացրվել է և ընդունվել (ԵԳԻ) ասպիրանտուրան: 1949թ. Հ. Ադամյանը պաշտպանել է իր թեկնածուական ատենախոսությունը, որից հետո նշանակվել է ինստիտուտի գիտական քարտուղար: 1950-1951թթ. աշխատել է «Հայածուխ» արշավախմբում որպես գլխավոր երկրաբան:

1954-1956թթ. դասախոսական աշխատանքին զուգահեռ եղել է ԵՊՀ կուսակցական կոմիտեի առաջին քարտուղար, 1963-1967թթ. Գիտահետազոտական բաժնի ղեկավար, 1967-1979թթ. Երեկոյան և հեռակա ուսուցման զծով պրոռեկտոր:

1972թ. Հ. Ադամյանին շնորհվել է «ՀՍՍՀ վաստակավոր երկրաբան» պատվավոր կոչումը: Կյանքի վերջին տարիներին աշխատել է ԵՊՀ պատմության թանգարանում որպես ավագ գիտաշխատող:

Վախճանվել է 1999 թ. ապրիլի 5-ին Երևանում:

ԱՄԻՐՅԱՆ ՇԱՎԱՐՇ ՀՈՎՀԱՆՆԵՍԻ (1926-2018): Ծնվել է 1926թ. ՀԽՍՀ Աշտարակի շրջանի Կարբի գյուղում: 1944թ. ավարտել է միջնակարգ դպրոցը և աշխատանքի նշանակվել Օհանավան գյուղի դպրոցում, որպես ուսուցիչ: Նույն տարում զորակոչվել է Սովետական բանակ և ծառայել մինչև 1950թ.:

1950թ. Շ.Ամիրյանն ընդունվել է ԵՊՀ Երկրաբանական ֆակուլտետ, որը գերազանցությամբ ավարտել է 1956թ. և աշխատանքի անցել ԵԳԻ-ում: 1976-2005թթ. հաջորդաբար զբաղեցրել է տեխնիկ-երկրաբանի, կրտսեր, ավագ գիտաշխատողի, Թումանյանի գ/հ բազայի վարիչի, 1986-2005թթ. Օգտակար հանածոների լաբորատորիայի վարիչի, առաջատար գիտ.աշխատողի պաշտոնները:

1962թ. Շ.Հ. Ամիրյանը պաշտպանել է թեկնածուական, իսկ 1974թ. դոկտորական ատենախոսությունը:

1976-1977թթ. ԵՊՀ երկրաբանական ֆակուլտետում դասավանդել է «Միներալոգիա» առարկան:

Ակադեմիկոս Հ.Մադաթյանի ղեկավարությամբ կազմված և հրատարակված «Հազվագյուտ և ազնիվ տարրերը ՀԽՍՀ հանքային ֆորմացիաներում» մենագրության համար Շ.Հ. Ամիրյանը համահեղինակների հետ արժանացել է Հայաստանի Պետական մրցանակի:

Նա ընտրվել է Ռուսաստանի բնական գիտությունների ակադեմիայի արտասահմանյան անդամ, հանքավայրերի ծագումնաբանության Միջազգային ասոցիացիայի (IAGOD) անդամ էր: 1985թ. արժանացել է «ՀՍՍՀ վաստակավոր երկրաբան» պատվավոր կոչման, 2015թ. պարգևատրվել է «Անանիա Շիրակացի» մեդալով:

Բանակում բարեխիղճ ծառայության համար Շ.Հ. Ամիրյանը պարգևատրվել է մարտական և հոբելյանական մեդալներով:

Վախճանվել է 2018թ. մայիսի 1-ին Երևանում:

ԱՍԼԱՆՅԱՆ ԱՇՈՏ ՏԻԳՐԱՆԻ (1919-1989): Ծնվել է 1919թ. փետրվարի 7-ին Քարվանսարայում (Իջևան): 1936թ. ընդունվել է ԵՊՀ երկրաբանական ֆակուլտետ, որն ավարտելուց հետո 1941թ. զորակոչվել է Կարմիր բանակ և ուղարկվել Մուրոմում գտնվող ռադիոկայանի ռազմական դպրոց: Ուսումն ավարտելուց հետո ստացել է լեյտենանտի կոչում և մեկնել Արևմտյան ռազմաճակատ: 102-րդ և 275-րդ հրաձգային դիվիզիաների կազմում մասնակցել է Դոնբասի, Վորոշիլովգրադի, Դոնի Ռոստովի մարտերին: 1942թ. նշանակվել է այդ դիվիզիայի դասակի հրամանատար: Հյուսիսկովկասյան ռազմաճակատում մասնակցել է Պյատիգորսկի, Կիսլովոդսկի, Նալչիկի և Օրջոնիկիձեի մարտերին: 1942թ. հունիսի 24-ին Դոնի Ռոստովի հա-

մար մղվող մարտերում վիրավորվել է, ստացել կոնտուզիա: Վերականգնվելով նորից մեկնել է ռազմաճակատ, սակայն 1942թ. աշնանը կրկին վիրավորվել է: 1943թ. բուժվելուց հետո ճանաչվել է հաշմանդամ և զորացրվել է:

1945-1954թթ. Ա.Տ.Ասլանյանը հաջորդաբար եղել է ԵԳԻ ասպիրանտ, գիտաշխատող, ապա իր նախաձեռնությամբ կազմակերպված Ռեզիդնայ երկրաբանության սեկտորի վարիչ:

1947թին պաշտպանել է թեկնածուական, 1957թ. դոկտորական ատենախոսությունը:

1954-1961թթ. նշանակվել է ՀՍՍՀ Մինիստրների սովետին կից երկրաբանական վարչության գլխ. ինժեներ, ապա պետ: 1961-1965թթ. 1965-1966թթ.-ին Երևանի պոլիտեխնիկական ինստիտուտի ռեկտոր, 1966-1975թթ. ՀՍՍՀ բարձրագույն և միջնակարգ մասնագիտական կրթության մինիստր: 1975-1987թթ. ԵԳԻ տնօրեն: Ա. Ասլանյանը 1950-ից դասախոսել է ԵՊՀ և Երևանի պոլիտեխնիկական ինստիտուտում: 1968 թվականից հանդիցացել է «Հայկական երկրաբանական ընկերության» նախագահ, 1970թ.-ից երկու անընդմեջ ժամկետ ընտրվել է Մոլորակագետների միջազգային ասոցիացիայի փոխարեզիդենտ: 1965թ. ընտրվել է ՀԳԱ թղթակից անդամ, 1986թ. ակադեմիկոս:

Պարգևատրվել է «Հայրենական Մեծ պատերազմի առաջին աստիճանի», «Հայրենական Մեծ պատերազմի երկրորդ աստիճանի» շքանշաններով, Աշխատանքային Կարմիր դրոշի 3 շքանշաններով, Ժողովուրդների բարեկամության շքանշանով, Գերմանիայի երկրաբանական միության Աբրահամ Վերների մեդալով, ԽՍՀՄ երկրաբանական միության Մեմյոնով-Տյանշանսկու մեդալով:

Վախճանվել է 1989թ. մարտի 16-ին, Երևանում:

ԱՎԱԳՑԱՆ ԼԵՎՈՆ ԱՎԵՏԻՍԻ (1914-1999):

Ծնվել է 1914թ. սեպտեմբերի 9-ին, Իզդիբում (Թուրքիա):

1939թ. ավարտելով ԵՊՀ աշխարհա-երկրաբանական ֆակուլտետը ընդունվել է ԵԳԻ, որպես գիտաշխատող: 1942-1943թթ. զորակոչվել է Կարմիր բանակ և շարքային մարտիկի կարգավիճակով մասնակցել Կովկասի պաշտպանությանը: Պատերազմի ավարտից հետո վերադարձել է ԵԳԻ: 1948թ. պաշտպանել է թեկնածուական ատենախոսությունը: 1956-76թթ. հանդիսացել է ԵԳԻ Հ.Կարապետյանի անվան երկրաբանական թանգարանի վարիչ:

Արժանացել է «ՀՍՍՀ վաստակավոր երկրաբան» պատվավոր կոչմանը: Պարգևատրվել է ՀՍՍՀ Գերագույն Սովետի, Հայաստանի ԳԱ նախագահության, «Գիտելիք» ընկերության բազմաթիվ պատվոգրերով:

Վախճանվել է 1999թ. հուլիսի 21-ին Երևանում:

ԱՎԱՆԵՍՅԱՆ ՍՈՒՐԵՆ ԻՎԱՆԻ (1911-1985): Ծնվել է 1911թ. Աշխաբաթ քաղաքում, Թուրքեստանի ռազմական օկրուգի ծառայողի ընտանիքում: Առաջին Համաշխարհային պատերազմի տարիներին ընտանիքը տեղափոխվում է Ստավրոպոլի մարզի Եդիսիյա գյուղը:

Ավարտել է Դոնի (Նովոչերկասկի) Պոլիտեխնիկական ինստիտուտը, ստացել լեռնային ինժեներ-երկրաբանի որակավորում: 1930թ. տեղափոխվել է Հայաստան և 1934 թվականից աշխատել Հայաստանի երկրաբանության ոլորտում:

1941թ. 390-րդ Հայկական դիվիզիայի կազմում մեկնել է ռազմաճակատ: Ս.Ավանեսյանը ռազմաճակատից այլ ինժեներների հետ միասին արձագանքելով կառավարության կոչին՝ աշխատանքի է անցել Հայաստանի Կոմկուսի կենտկոմի պղնձահանքային բաժանմունքում:

Ս.Ավանեսյանը պարգևատրվել «Չեխոսլովակիայի հանրապետության աշխատանքային» մեդալով: 1967թ-ին նրան շնորհվել է «ՀՍՄՀ վաստակավոր երկրաբան» պատվավոր կոչումը:

Վախճանվել է 1985թ. Երևանում:

ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ ՎԱՐԴԳԵՍ ԱԲԳԱՐԻ (1918-2007): Ծնվել է 1919թ. Ալեքսանդրապոլում (Գյումրի): 1936թ ընդունվել է ԵՊՀ աշխարհա-երկրաբանական ֆակուլտետը: 1941թ. ավարտել է համալսարանը և զորակոչվել Կարմիր բանակ: 1942թ. ավարտել է Գորկու ռազմա-տանկային դպրոցը և տանկային դասակի հրամանատարի պաշտոնով ուղարկվել Վորոնեժի ռազմաճակատ: 1943թ. նրան տեղափոխել են ուկրաինական ռազմաճակատ, ուր մասնակցել է Բելգորոդ, Խարկով, Պոլտավա քաղաքների ազատագրման համար մղվող մարտերին: Նույն թվականի հուլիսին Վ. Ավետիսյանը վիրավորվել է, ապաքինվել և 1944թ. մայիսին նորից մեկնել Երկրորդ ուկրաինական ռազմա-ճակատ:

Պատերազմից հետո Վ. Ավետիսյանը զորացրվել է, 1954թ. պաշտ-պանել է թեկնածուական ատենախոսությունը, ստացել դոցենտի կոչում և նույն թվականից աշխատանքի անցել ԵՊՀ-ում որպես երկրաբանական ֆակուլտետի Ընդհանուր և կիրառական երկրա-բանության ամբիոնի դոցենտ, 1968-1976թթ. ղեկավարել է նույն ամ-բիոնը: 2000թ. արժանացել է պրոֆեսորի կոչման: 1970թ. Վ. Ավետիս-յանին շնորհվել է «ՀՍՄՀ վաստակավոր երկրաբան» կոչումը:

Վ.Ավետիսյանը պարգևատրվել է «Հայրենական Մեծ պատերազմի առաջին աստիճանի», «Հայրենական Մեծ պատերազմի երկրորդ աս-տիճանի», շքանշաններով բազմաթիվ մարտական մեդալներով:

Վախճանվել է 2007թ. հոկտեմբերի 12-ին Երևանում:

ԱՐՁՈՒՄԱՆՅԱՆ ՄԻՍՈՆ ԿԱՐԱՊԵՏԻ (1924-1990): Ծնվել է 1924թ. Միսիանի շրջանի Շաղաթ գյուղում: 1941թ. ընդունվել ԵՊՀ աշխարհա-երկրաբանական ֆակուլտետը, ավարտել է առաջին կուրսը և 1942թ. օգոստոսին զորակոչվել Կարմիր բանակ: Մեկ ամիս անց նրան ուղարկել են Հյուսիսային Կովկասի ռազմաճակատ, ուր ծառայել է 69-րդ առափնյա ծովային բրիգադում որպես հրաձիգ: Մասնակցել է Նովոռոսիյսկի շրջանում տեղի ունեցած դեսանտային գործողություն-ներին և կատաղի մարտերից մեկում 1943թ. հունվարի 11-ին ծանր վիրավորվել: 898-րդ առանձին կապի գումարտակում որպես կապա-վոր մասնակցել է Խարկովի, Դնեպրոպետրովսկի, Ժիտոմիրի, Ռով-նոյի, Կելցի ազատագրմանը և թշնամու Սանդոմիրի հենակետերի վե-րացմանը: 1944թ. հուլիսին Սանդոմիրի մոտ վիրավորվել է և առանց մարտական շարքից դուրս գալու բուժվել: Մասնակցել է գերմանական մի քանի քաղաքների, այդ թվում՝ Բեռլինի գրավմանը: Ս. Արզուման-յանը պարգևատրվել է մի շարք մարտական մեդալներով ու Գերա-զույն Գլխավոր հրամանատարության շնորհակալագրերով: 1945թ. Ս.Արզումանյանը զորացրվել է և շարունակել ուսումը, ավարտելով այն 1949թ.: 1962թ. պաշտպանել է թեկնածուական ատենախոսությու-նը: 1966-1990թթ. դասախոսել է ԵՊՀ երկրաբանական ֆակուլտետում: 1986թ. պաշտպանել է դոկտորական ատենախոսություն, 1989թ. ար-ժանացել է պրոֆեսորի կոչման:

Վախճանվել է 1990 թ. սեպտեմբերի 26-ին Երևանում:

ԲԱՆՅԱՆ ՍՈՂՈՄՈՆ ՊՈՂՈՍԻ (1917-2002): Ծնվել է 1917թ. Ալեքսանդրապոլում (Գյումրի): Տեղի միջնակարգ դպրոցն ավարտելուց հետո ընդունվել է ԵՊՀ աշխարհա-երկրաբանական ֆակուլտետը: 1940թ. ավարտել է այն, զորակոչվել բանակ: 1941թ. ավարտել է Բաքվի զենիթային հրետանու դպրոցը, ստացել լեյտենանտի կոչում և նշա-նակվել դասակի հրամանատար Հայկական 89-րդ դիվիզիայում: Այնու-հետև ծառայել է 20-րդ հատուկ զենիթային դիվիզիայում որպես մարտկոցի հրամանատար: Ս.Բալյանը մարտնչել է Առաջին բելա-ռուսական, Առաջին և Երրորդ ուկրաինական ռազմաճակատներում: Վիլնյուսի ազատագրման ժամանակ վիրավորվել է, ապաքինվել և վերադարձել ռազմաճակատ: Նա մասնակցել է Քյոնիգսբերգի (այժմ Կալինինգրադ) և Բեռլինի գրավմանը: Կարմիր բանակի շարքերում նա անցել է Հյուսիսային Կովկասից մինչև Բեռլին:

1946թ. Ս. Բալյանը զորացրվել է և վերադարձել ԵՊՀ: Նույն թվա-կանին աշխատանքի է անցել ԵԳԻ որպես կրտսեր, ապա՝ ավագ գիտ-աշխատող: 1951թ. տեղափոխվել է ԵՊՀ, անցնելով դասախոսական աշխատանքի: 1949թ. Ս.Բալյանը պաշտպանել է թեկնածուական, իսկ 1966թ. դոկտորական ատենախոսությունները: 1951-2002թթ. աշխատել է ԵՊՀ աշխարհագրական ֆակուլտետում, սկզբում իբրև ավագ դա-սախոս, ապա՝ դոցենտ, իսկ 1968 թվականից պրոֆեսոր: 1969-1997թթ. հանդիսացել է ԵՊՀ քարտեզագրության և գեոմորֆոլոգիայի ամբիոնի

հիմնադիր վարիչը: 1970թ. Մ.Բալյանն արժանացել է «ՀՍՍՀ վաստակավոր երկրաբան» կոչմանը:

Մարտական սխրագործությունների համար արժանացել է «Ալեքսանդր Նևսկու», «Կարմիր աստղի», «Հայրենական Մեծ պատերազմի առաջին աստիճանի», «Հայրենական Մեծ պատերազմի երկրորդ աստիճանի» շքանշանների և բազմաթիվ մեդալների:

Վախճանվել է 2002թ. մայիսի 15-ին:

ԲԱՂԴԱՍԱՐՅԱՆ ԳԵՎՈՐԳ ՊԵՏՐՈՍԻ (1908-1998): Ծնվել է 1908թ. մայիսի 10-ին Երևանում: 1927-1931թթ. ԵՊՀ բնագիտության ֆակուլտետի քիմական բաժնի ուսանող:

1938թ. ընդունվել է ԵԳԻ ասպիրանտուրան: 1942թ. զորակոչվել է Կարմիր բանակ: 1942թ. փետրվարից մասնակցել է Ղրիմի և Հյուսիս-կովկասյան ռազմաճակատներում, Կերչի մարտերին նախ որպես 47-րդ բանակի 158-րդ առանձին մոտահրաձգային գումարտակի դասակի, ապա՝ վաշտի հրամանատար: 1943թ-ին առողջության վատթարացման պատճառով զորացրվել է և անցել աշխատանքի ԵԳԻ-ում: 1944-1947թթ. հանդիսացել է ԵԳԻ-ի գիտքարտուղար: 1951թ. պաշտպանել է թեկնածուական ատենախոսություն:

1948-1977թթ. ԵԳԻ-ի Պետրոգրաֆիայի և միներալոգիայի սեկտորի, 1976-1986թթ. Երկրաժամանակագրության և իզոտոպային հետազոտությունների լաբորատորիայի վարիչ:

1963թ-ին պարգևատրվել է «Աշխատանքային Կարմիր դրոշի», 1985թ. «Հայրենական Մեծ պատերազմի երկրորդ աստիճանի» շքանշաններով, 1966թ. և 1985թ. ՀՍՍՀ Գերագույն խորհրդի նախագահության պատվոգրով: 1974թ-ին Գ.Բաղդասարյանին շնորհվել է «ՀՍՍՀ վաստակավոր երկրաբան» պատվավոր կոչումը:

Վախճանվել է 1998 թ. հունվարի 16-ին Երևանում:

ԲՈՇՆԱՂՅԱՆ ՊԵՐՃ ՍԵՐԳԵՅԻ (1920-2004): Ծնվել է 1920թ. Նոր Բայազետ (Գավառ) քաղաքում: 1938թ. Երևանում ավարտել է միջնակարգ դպրոցը և ընդունվել ԵՊՀ-ի աշխարհագրա-երկրաբանական ֆակուլտետը: 1941թ. հուլիսին Պ.Բոշնաղյանը զորակոչվել է Կարմիր բանակ, ծառայել Հայկական 89-րդ հրաձգային դիվիզիայում: Մարտնչել է Հյուսիսային Կովկասի, Անդրկովկասի, Առաջին բելառուսական ռազմաճակատներում և Մերձծովյան հատուկ բանակի կազմում: Պ.Բոշնաղյանը նշանակվել է ականանետային գումարտակի հրամանատար, հետախուզության ու օպերատիվ ծառայության զծով գնդի շտաբի պետի օգնական, գնդի շտաբի պետ: Պ.Բոշնաղյանը ակտիվ մասնակցություն է ունեցել Գրոզնի քաղաքի պաշտպանության, Թաման թերակղզու, Կերչի, Սևաստոպոլի ազատագրման, Ֆրանկֆուրտի և Բեռլինի զրավման համար մղվող մարտերին:

Պատերազմից հետո, 1948թ. աշխատել է ԵԳԻ-ում, 1950թ-ից ԵՊՀ երկրաբանական ֆակուլտետի Ընդհանուր և կիրառական երկրաբա-

նության ամբիոնում: 1955թ. պաշտպանել է թեկնածուական ատենախոսությունը, 1956թ. նրան շնորհվել է դոցենտի կոչում: 1952-1955թթ. և 1961-1962թթ. Պ. Բոշնադյանը եղել է ԵՊՀ տնտեսական աշխատանքների զծով պրոռեկտոր, 1959-1961թթ. երկրաբանական ֆակուլտետի դեկան, 1965-1968թթ. դեկանի տեղակալ, 1966-1968 թթ. և 1992-1997թթ. Ընդհանուր և կիրառական երկրաբանության ամբիոնի վարիչ: 1997թ. արժանացել է պրոֆեսորի կոչման:

1999-2003 թթ. Պ. Բոշնադյանն ընտրվել է ՀՀ Ազգային ժողովի երկրորդ գումարման պատգամավոր, երկար տարիներ ղեկավարել է ՀՀ պատերազմի վետերանների կոմիտեն: 1996 թվականից մինչև կյանքի ավարտը եղել է ՀՀ պատերազմի, աշխատանքի, զինված ուժերի և իրավապահ մարմինների վետերանների միության խորհրդի նախագահը, ԱՊՀ անդամ երկրների վետերանների հասարակական կազմակերպությունների միջազգային միությունը համադասող խորհրդի նախագահության անդամ:

1971թ. Պ.Բոշնադյանն արժանացել է «ՀՍՍՀ վաստակավոր երկրաբան» կոչման: Պարգևատրվել է «Հայրենական պատերազմի առաջին աստիճանի», «Հայրենական պատերազմի երկրորդ աստիճանի», «Կարմիր աստղ», «Աշխատանքային կարմիր դրոշի» շքանշաններով ու բազմաթիվ մեդալներով: Ֆրանսիայի իշխանությունների կողմից նրան շնորհվել է «Փարիզ քաղաք» անվանական մեդալ:

Վախճանվել է 2004թ. հունվարի 5-ին Երևանում:

ԳՅՈՎԶՄԱՅՅԱՆ ՄԿՐՏԻՉ ԳՐԻԳՈՐԻ (1920-1988): Ծնվել է 1920 թ. Ալեքսանդրապոլում (Գյումրի): 1939թ. ավարտել է Երևանի լեռնամետալուրգիական տեխնիկումը և աշխատանքի անցել սկզբում Մոնչեգորսկում, ապա՝ Մուրմանսկում: Երկրաբանական հետախուզական աշխատանքների ժամանակ հիվանդացել է, փոխադրվել Երևան և առողջանալուց հետո 1941թին զորակոչվել բանակ:

Ծառայել է 409-րդ հայկական հրաձգային դիվիզիայում որպես դասակի հրամանատար: 1941թ. դիվիզիայի կազմում մեկնել է Հյուսիսային Կովկասի ռազմաճակատ, մասնակցել է Մոզդոկի տակ տեղի ունեցող կատաղի մարտերին:

Պատերազմից հետո, 1945-1950թթ. սովորել ու ավարտել է Մոսկվայի Մ.Կալինինի անվան գունավոր մետաղների ինստիտուտը, ապա սովորել է Լենինգրադի (Մանկտ-Պետերբուրգ) լեռնային ինստիտուտում, 1950թ. պաշտպանել թեկնածուական ատենախոսությունը և տեղափոխվել ԵՊՀ, որտեղ աշխատել է երկրաբանական ֆակուլտետում որպես դոցենտ:

Վախճանվել է 1988թ. Երևանում:

ՄԱՂԱՔՅԱՆ ՀՈՎՀԱՆՆԵՍ ԳԵՎՈՐԳԻ (1914-1982): Ծնվել է 1914թ.-ի ապրիլի 6-ին Թբիլիսիում: 1935թ. ավարտել է Լենինգրադի (Սանկտ Պետերբուրգ) լեռնային ինստիտուտը: 1934-1940թթ. աշխատել է ԽՍՀՄ ԳԱ Տաջիկ-Պամիրյան արշավախմբում որպես ջոկատի պետ: 1940թ. գորակոչվել է բանակ: Հայրենական պատերազմի սկզբից նշանակվել է սակրավորային ականաճեղքային դասակի հրամանատար և մասնակցել Ուկրաինայի և Հյուսիսային Կովկասի պաշտպանողական ծանր մարտերին: Արևմտյան Բուգ գետի վրա գտնվող կամուրջի շրջանում իրականացված հմուտ գործողությունների շնորհիվ հակառակորդին զգալի կորուստներ հասցնելու համար Հ.Մաղաքյանը 1941թ. արժանացել է լեյտենանտի կոչման և պարգևատրվել «Կարմիր աստղ» շքանշանով:

Այնուհետև ծանր վիրավորվել է և որոշ ժամանակ չանցած դուրս գրվել ու վերադարձել իր դիրքեր: Այդ ժամանակ սկսվել է դեպի Ստալինգրադ գերմանական զրոհը: 1942 թվականի աշնանը գորացրվել է և անցել աշխատանքի ԵԳԻ-ում որպես ավագ գիտաշխատող, իսկ 1947 թվականից տնօրենի գիտական գծով տեղակալ: 1957թ. Հ.Մաղաքյանը ընտրվել է ՀԽՍՀ ԳԱ նախ տեխնիկական գիտությունների, իսկ 1963 թվականից երկրի մասին գիտությունների բաժանմունքի ակադեմիկոս քարտուղար: 1963-1966թթ. համատեղության կարգով եղել է Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտի տնօրենը: Նա եղել է ԽՍՀՄ (1950) և ՀԽՍՀ (1976) պետական մրցանակների դափնեկիր: Պարգևատրվել է «Աշխատանքային Կարմիր դրոշի», «Կարմիր աստղ», «Պատվոնշան» շքանշաններով:

Վախճանվել է 1982 թ. նոյեմբերի 14-ին Երևանում:

ՓԻՋՅԱՆ ԳՐԻԳՈՐ ՀՈՎՀԱՆՆԵՍԻ (1919-1998): Ծնվել է 1919թ. սեպտեմբերի 1-ին Թբիլիսիում: 1937թ. ավարտել է միջնակարգ դպրոցը և ընդունվել է Երևանի պետական համալսարանի երկրաբանական ֆակուլտետը: 1941թ. օգոստոսին գորակոչվել է Կարմիր բանակ, 1942թ. ավարտել է Թելավիյի հետևակային ուսումնարանը ստանալով լեյտենանտի կոչում: Մասնակցել է Կովկասի պաշտպանության մարտերին, դեսանտային գործողություններում Նովորոսիյսկի շրջանում, Կուրսկ-Բելգորոդ աղեղի, Ուկրաինայի ազատագրման, Դնեպրի գետանցման մարտերին որպես ականանետային վաշտի հրամանատար:

1946թ. հունիսին գորացրվել է բանակից և նույն տարվա հոկտեմբերին ավարտել է ԵՊՀ Երկրաբանական ֆակուլտետը: 1947-1988թթ. աշխատել է Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտում հաջորդաբար զբաղեցնելով կրտսեր գիտաշխատողի, Երկրաբանական թանգարանի վարիչի, ավագ գիտաշխատողի, երկրաքիմիայի բաժնի վարիչի պաշտոնները:

1951թ. Լենինգրադում (Սանկտ Պետերբուրգ) պաշտպանել է թեկնածուական, իսկ 1969թ. դոկտորական ատենախոսությունը: 1976թ. համահեղինակների հետ «Հազվագյուտ և ազնիվ տարրերը ՀԽՍՀ

հանքային ֆորմացիաներում» մենագրության համար Գ.Հ.Փիջյանն արժանացել է Հայաստանի Պետական մրցանակի գիտության բնագավառում:

1985թ. նրան շնորհվել է ՀՍՍՀ գիտության վաստակավոր գործիչ պատվավոր կոչումը:

Մարտական սխրանքների համար Գ.Հ.Փիջյանը պարգևատրվել է Կարմիր աստղ երկու շքանշանով (1943թ. մայիս և սեպտեմբեր ամիսներին), ՀՍՍՀ ԳԱ «Գովեստագիր» և «Վաստակագիր» պատվոգրերով, բազմաթիվ մարտական և աշխատանքային մեդալներով:

1988թ. իր դատեր հրավերով տեղափոխվել է Հայաստանից մշտական բնակության Գերմանիայի Դեմոկրատական Հանրապետություն:

Վախճանվել է 1998թ. Գերմանիայում:

ՇԻՐԻՆՅԱՆ ԿՈՆՍՏԱՆՏԻՆ ԳՐԻԳՈՐԻ: Ծնվել է 1923թ. հունվարի 25-ին Ղարաքիլիսայում (Վանաձոր): 1940թ. ընդունվել է ԵՊՀ Երկրաբանական ֆակուլտետ, 1941թ. հոկտեմբերին գորակոչվել է Կարմիր բանակ: 1942թ. ավարտել է Լենինգրադի (Սանկտ Պետերբուրգ) հետևակի ուսումնարանը ստանալով լեյտենանտի կոչում: 1946թ. գորացրվել և շարունակել է ուսուցումը ԵՊՀ Երկրաբանական ֆակուլտետում (1946-1950թթ.), ապա անցնելով աշխատանքի ԵԳԻ-ում: 1954թ. պաշտպանել է թեկնածուական ատենախոսությունը և հաջորդաբար զբաղեցրել է կրտսեր գիտաշխատողի, ԵԳԻ գիտքարտուղարի (1955-1957թթ.), ավագ գիտ.աշխատողի (1957-1963թթ.), բաժնի վարիչի (1963-1965թթ.), առաջատար գիտաշխատողի (1965-1989թթ.), ավագ գիտաշխատողի (1985-2005թթ.) պաշտոնները:

Պարգևատրվել է մարտական և աշխատանքային մեդալներով:

Վախճանվել է 2006թ. հունիսի 5-ին Երևանում:

Գրականություն

1. ՀՀ ԳԱԱ «Գիտություն երկրի մասին տեղեկագիր»
2. 418 թղթապանակ, թանգարանի արխիվ
3. 5 ընտանեկան արխիվներ
4. Երևանի պետական համալսարանն ու համալսարանականները Հայրենական մեծ պատերազմի տարիներին (1941-1945 թթ.)
5. Փայլակ Ենգոյան, Էդիկ Մինասյան
6. http://publishing.yysu.am/files/Yengoyan_Minasyan.pdf

Հոդվածի հեղինակներն իրենց խորին շնորհակալությունն են հայտնում ՀՀ ԳԱԱ թղթ. անդամ Ռ.Մելքոնյանին արված ավելացումների և շտկումների համար:

ԲՆԱԳՐԻ ՁԵՎԱՎՈՐՄԱՆ ԿԱՆՈՆՆԵՐԸ

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

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

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

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

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

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

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

6. Թվարկված պահանջներին չբավարարող հոդվածները չեն ընդունվում:

7. Սրբագրումից հետո լրացումներ չեն արվում:

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

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РУКОПИСИ

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

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

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

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

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

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

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

7. Дополнения в корректуру не вносятся.

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

MANUSCRIPT PREPARATION GUIDELINES

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

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

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

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

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

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

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

7. No additions are introduced into proofs.

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