

УДК 551.24/550.34

ВЫДЕЛЕНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКИ АКТИВНЫХ БЛОКОВ И ОЦЕНКА
СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА РАЗЛОМОВ
ТЕРРИТОРИИ АРМЕНИИ ПО КОМПЛЕКСУ ТЕКТОНО-
ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ И СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Р. С. САРГСЯН *, К. С. КАЗАРЯН

Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова НАН РА, Гюмри, Армения

В статье проведен тектоно-геоморфологический анализ с целью изучения тектонической активности блоков территории Армении. С помощью данного анализа выделены наиболее активные и пассивные блоковые единицы. Изучена связь между тектонической активностью блоков и сейсмичностью, в результате чего выявлены общие закономерности приуроченности сейсмических событий разной величины к определенным межблоковым тектоническим ситуациям. На основе различия тектонической активности блоков проведена качественная оценка сейсмотектонического потенциала отдельных сегментов разломов.

Keywords: block structure, tectonic-geomorphological analyses, seismological data, fault active segments detection, seismotectonic potential assessment.

Введение. Общеизвестно, что территория Армении – один из наиболее сейсмоактивных регионов Кавказа. Главной причиной этого являются сложное, неоднородное геологическое строение территории и ее расположение в плане региональной тектоники. Непосредственным результатом этих факторов является контрастный и сильно расчлененный рельеф земной поверхности, окончательное формирование основных черт которого произошло в недавнем геологическом прошлом в ходе неотектонических разломно-блоковых подвижек, которые имели сильно дифференцированный характер и охватили всю территорию республики. Суммарные вертикальные подвижки, согласно некоторым исследованиям [1], местами доходили до 3,0 км. Тектоническая активность исследуемой территории сохраняется и в наши дни, что четко проявляется активным сейсмическим режимом.

Цель и методика исследования. Главная задача работы – это выявление тектонически активных блоковых единиц территории Армении и выделение на этой основе сегментов разломов с высоким сейсмотектоническим потенциалом.

Данный подход для территории Армении применяется впервые. Одной из ключевых идей, поставленных в основу данной работы, является то, что

* E-mail: rudolf-sargsyan@mail.ru

разломы не рассматриваются как единое геологическое образование, сейсмо-тектонический потенциал которого одинаков на всех его частях. Кроме того, чтобы оценить сеймотектонический потенциал разломов, за основу не принимаются уже произошедшие сейсмические события, как это принято делать, а основное внимание обращается на межблоковые связи, в данном случае – на различия характера тектонической активности блоков, и только после этого для обоснования полученных результатов прилагаются сейсмические данные.

С целью анализа тектонической активности блоков применен тектоно-геоморфологический подход, основанный на количественном анализе морфометрических показателей рельефа и речных водотоков. Выбор именно этого подхода объясняется тем, что современный рельеф является непосредственным отражением тектонических процессов, протекающих в разных слоях земной коры. В частности, морфометрические характеристики рельефа являются результатом произошедших и продолжающихся вертикальных и горизонтальных тектонических подвижек.

Одной из главных задач является выбор тектонической основы, другими словами, выбор схемы блокового строения исследуемой территории. На сегодняшний день известно множество схем блокового строения территории Армении, где выделение блоков основано на геолого-геофизических данных о строении земной коры. Однако в данной работе в качестве такой схемы была принята составленная нами ранее схема блокового строения современного рельефа территории Армении [2]. Поскольку данная схема, для которой был применен соответствующий метод [3], составлена исключительно на анализе данных современного рельефа, то она будет наиболее удобной и правильной для методики, примененной в данной статье. В качестве исходных данных служили топографические карты масштаба 1:200 000 и ЦМР SRTM30. Границы блоковых структур на этой схеме проходят по подножиям горных сооружений, по прямолинейным и коленообразным участкам речных долин, а также линеаментам. Стоит отметить также, что данная схема нашла свое подтверждение также при сопоставлении с геофизическими полями, в частности с локальным гравитационным полем, осредненным до глубины 5 км [4]. Было выявлено, что границы блоков 1-го ранга, которым соответствуют отдельные геоморфологические единицы (горные хребты, межгорные котловины), проходят по градиентным зонам между положительными и отрицательными аномалиями гравитационного поля. Границы блоков 2-го, более низкого ранга, представляющие собой сегменты геоморфологических единиц, проходят по контурам отдельных локальных аномалий. В целом была выявлена также идентичность данной схемы схеме разломно-блоковой структуры кристаллического фундамента, что подтверждает воздействие последней на вышележащие слои земной коры и ключевую роль в формировании их основных структурно-тектонических черт [2]. Из этого следует также, что разграничивающие межблоковые разломы доходят в среднем до глубин 8–10 км, это не касается, конечно, известных глубинных разломов, которые доходят до верхней мантии.

На приведенной ниже схеме (рис. 1) было выделено 63 блоковые единицы 2-го ранга, которые формируют 27 блоков 1-го ранга. Для проведения

анализа тектонической активности блоков нами была выбрана методика, основанная на анализе количественных показателей современного рельефа и речной сети. В частности был применен так называемый индекс относительной обрывистости и расчлененности склонов (авторский перевод – ИОРС, на английском – Index RDEt), который был предложен М. Эйчебехером и др. [5]. Этот индекс включает два основных взаимосвязанных показателя: длину тальвега реки и крутизну склона. Формула имеет вид:

$$RDEt = \left(\frac{\Delta H}{\Delta L} \right) \ln L, \quad (1)$$

где ΔH – показатель падения реки; ΔL – длина горного склона по прямой линии; L – длина речного тальвега. Следовательно, соотношение в первой части (1) дает нам величину крутизны склона. Из (1) следует, что чем выше значение ИОРС, тем тектонически активнее данная территория, что проявляется высокой крутизной склонов и более длинными водотоками (реками).

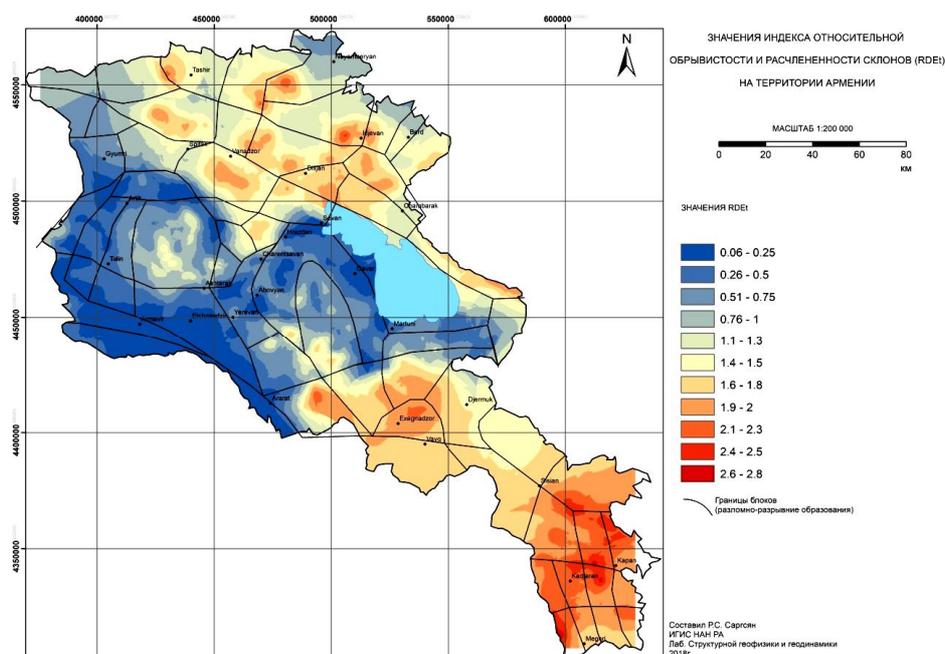


Рис. 1. Схематическая карта блоков и распределения значений индекса относительной обрывистости и расчлененности склонов территории Армении.

Следует отметить также, что, согласно методике, показатель ИОРС предлагается вычислять для всей речной сети. По нашему мнению, его применение наиболее эффективно для каждого отдельно взятого порядка водотоков, т.к. по некоторым исследованиям [6] принято считать, что разные порядки водотоков характеризуют разные этапы тектонической активизации территории, в частности, водотоки 1-го порядка характеризуют современный эрозионный цикл и их происхождение и развитие связано с современными тектоническими подвижками. Само понятие о порядке водотоков и их классификация были предложены в середине прошлого века американскими

учеными А. Страхлером [7] и Р. Хортоном [8], они успешно применяются и в наши дни. Согласно этой классификации, в каждой речной системе можно выделить различные порядки водотоков. Водотоками наиболее низкого, 1-го порядка являются притоки рек, которые находятся еще в стадии формирования. После слияния двух или более таких водотоков формируется водоток 2-го порядка и т.д., самый высокий порядок имеет основная река, в которую впадают все остальные реки и ручьи. Опираясь на вышесказанное, в данной работе значение ИОРС было подсчитано только для водотоков 1-го порядка.

Еще одним важным моментом является фильтрация и выборка полученных данных. Общеизвестно, что на процесс формирования водотоков влияют три главных фактора: климат, тектоника и литология. На исследуемой территории на первый план выходят два последних, т.к. климат в ее разных частях резко не меняется. Поскольку наша задача касается выявления тектонического фактора, то следует отфильтровать данные о тех водотоках, в которых литология играет ключевую роль.

Результаты исследования. В рамках исследуемой территории нами было выделено общим числом 11 150 водотоков 1-го порядка. В процессе фильтрации важную роль играет зависимость между показателями ΔH и L [9]. В результате были построены три разных графика зависимости между указанными показателями для Северного (а) и Южного (б) складчатых регионов Армении, а также Центрального вулканического нагорья и Среднеараксинской впадины (в) (рис. 2). На приведенных ниже графиках представлены уже отфильтрованные данные с высокими значениями корреляции.

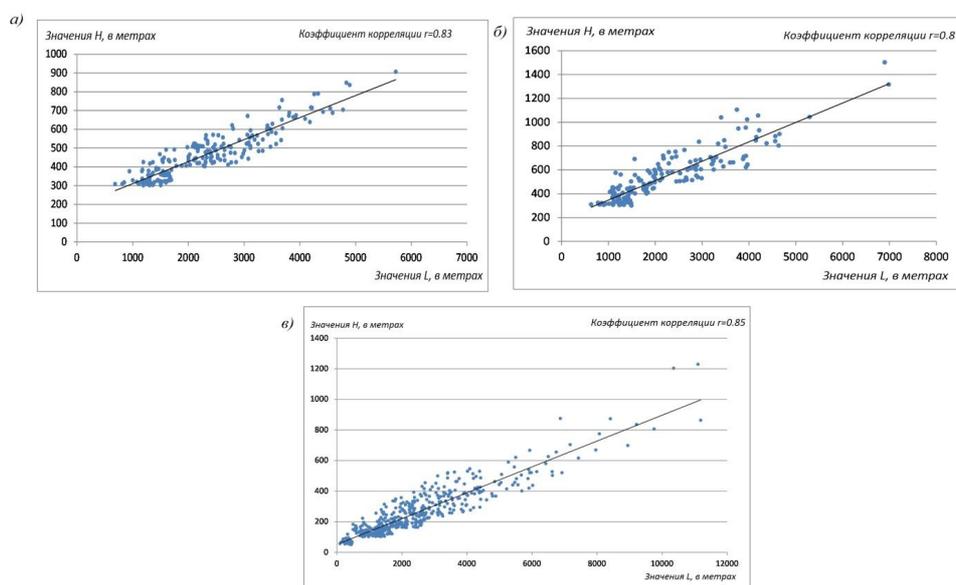


Рис. 2. Графики зависимости между значениями ΔH и L для Северного (а) и Южного (б) складчатых регионов Армении, а также Центрального вулканического нагорья и Среднеараксинской впадины (в).

Для всех вышеупомянутых регионов коэффициент корреляции превышает значение 0,8. Кроме того, для фильтрации данных они были сопоставлены

также со схематической инженерно-геологической картой А.Т. Асланяна [10], где приведены основные геолого-литологические комплексы Армении. Проведенный анализ позволил нам принять эти данные как достоверные и составить карту значений ИОРС для исследуемой территории, а затем сопоставить ее с ранее упомянутой схемой блокового строения (рис. 1).

Значения поля ИОРС колеблются в интервале величин от 0,06 до 2,8, что дает нам возможность составить представление об отличиях тектонической активности в разных частях исследуемой территории. В общих чертах картину можно характеризовать следующим образом. На современном тектоническом этапе, под которым нужно подразумевать современный цикл эрозионного вреза, наиболее тектонически активными являются именно Северная и Южная складчатые регионы Армении, для которых средние значения ИОРС составляют соответственно 1,1 и 1,355. Что касается Центрального вулканического нагорья и Среднеараксинской впадины, то они отличаются своей пассивной тектоникой, что проявляется низким средним значением ИОРС – 0,46.

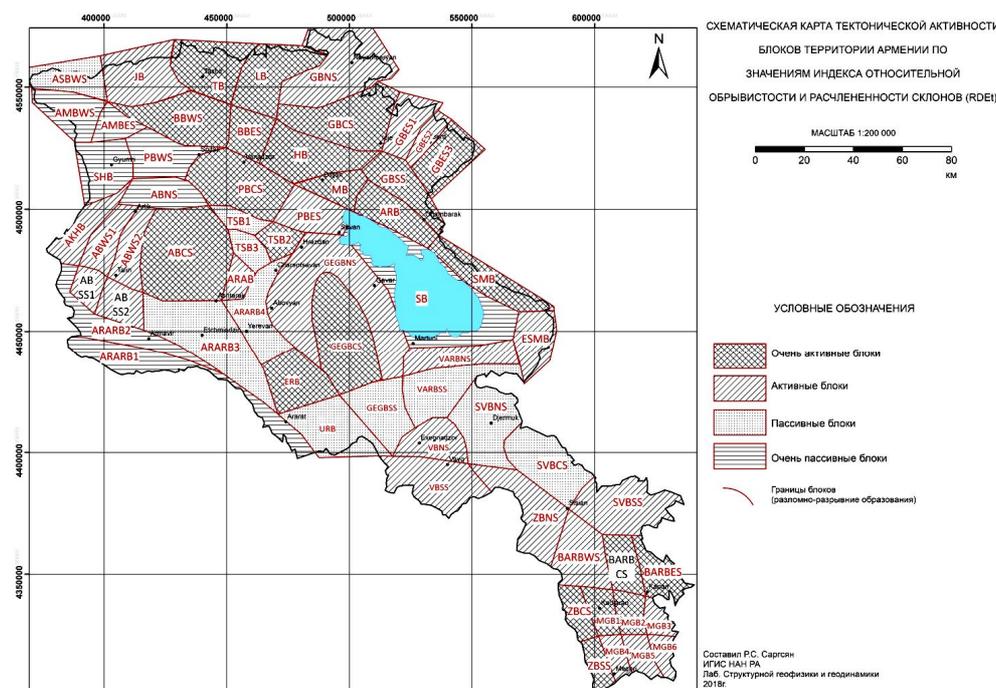


Рис. 3. Схематическая карта тектонической активности блоков территории Армении по средним значениям ИОРС.

Наименования блоков (окончания -WS, -ES, -CS, -SS, -NS означают соответственно – западный, восточный, центральный, южный, северный сегменты): MGB – Мегринский блок; ZB – Зангезурский блок; VARB – Баргушатский блок; SVB – Сюникский вулканический блок; VB – Вайкский блок; VARB – Варденисский блок; GEGB – Гегамский блок; URB – Урцский блок; ERB – Ераносский блок; ARARB – Араратский блок; ESMB – блок Восточно-Севанского хребта; SB – Севанский блок; ARAB – блок Ара; AB – Арагацский блок; АКНВ – Ахуранский блок; SMB – блок Севанского хребта; ARB – Арегунийский блок; MB – Миапорский блок; GB – Гугаркский блок; TSB – Цахкуняцкий блок; PB – Памбакский блок; HB – Халабский блок; BB – Базумский блок; LB – Лалварский блок; TB – Таширский блок; JB – Джавахетский блок; ASB – Ашоцкий блок; AMB – Амасийский блок; SHB – Ширакский блок.

На следующем шаге были подсчитаны средние показатели ИОРС для каждой блоковой единицы (R_{cp}) и их соотношение со средним показателем по региону (R_{per}). После этого была выполнена условная классификация блоков по четырем основным категориям: очень пассивные ($R_{cp}/R_{per} < 0,9$), пассивные ($0,9 < R_{cp}/R_{per} < 1,1$), активные ($1,1 < R_{cp}/R_{per} < 1,5$) и очень активные блоки ($R_{cp}/R_{per} > 1,5$). Результаты приведены на рис. 3.

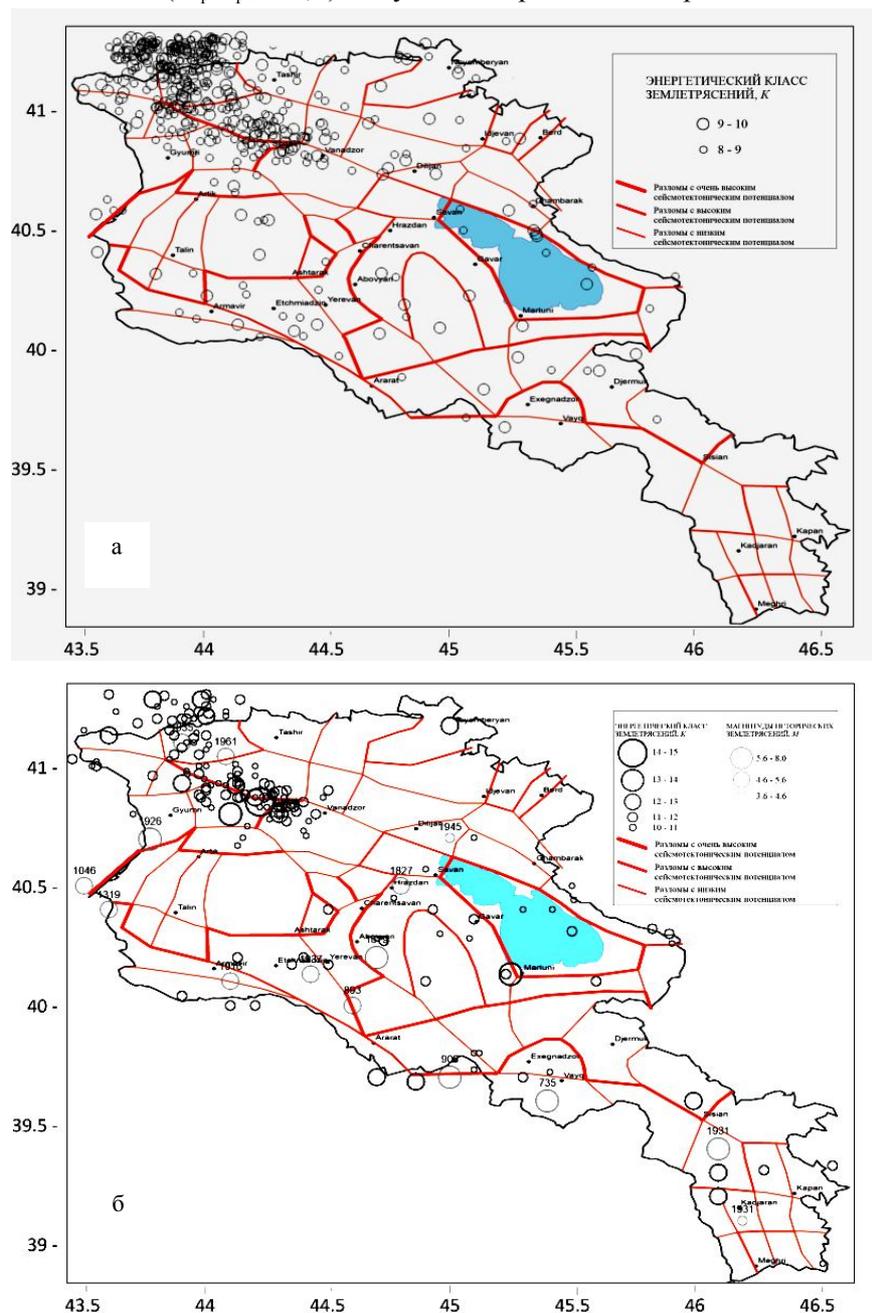


Рис. 4. Сейсмические события на территории Армении – исторические и за период инструментальных наблюдений: а) с энергетическим классом $8 \leq K \leq 10$; б) $K > 10$.

Из вышеприведенной схематической карты отчетливо видно, что вся территория Армении выделяется своей контрастностью – есть блоки, которые относятся к категории очень активных, и блоки с очень пассивной тектоникой. Есть один важный момент, как было упомянуто ранее: в данном случае тектоническая активность характеризует современный эрозионный цикл и является средним качественным показателем тектонической активности блоков начиная с позднего плейстоцена до наших дней, и отражает общую тенденцию блоковой активности. Следовательно, эта картина может и не согласовываться с данными о современных вертикальных подвижках, т.к. последние характеризуют очень короткий временной интервал, другими словами – отдельный пик в общей тенденции.

Свое важное практическое значение данная схема приобретает, когда анализируется ее связь с сейсмичностью.

В качестве сейсмологических данных были использованы сейсмические события, взятые из каталогов за период инструментальных наблюдений (1962–2014 гг.) [11]. Параметры данных, которые также содержатся в сейсмологических бюллетенях, были уточнены и пересчитаны, что детально изложено в работе [12]. Были взяты также данные об исторических землетрясениях из каталога А.А. Годзиковской [13]. На приведенном рис. 4 показано пространственное распределение сейсмических событий с энергетическим классом $K > 8$.

Сравнительный анализ показывает, что сильные землетрясения с $K > 12$ в основном происходили на приграничных разломно-разрывных зонах между активными и пассивными блоками. Более слабые землетрясения, с низким энергетическим классом, не следуют данной закономерности и распределены как на границах блоков одинаковой категории, так и на внутриблоковых пространствах. Опираясь на данную закономерность, все приграничные зоны между активными и пассивными блоками нами были выделены как особо сейсмоопасные, где возможны сильные землетрясения.

Выводы. Современная речная сеть и рельеф, их комплексный количественный анализ могут дать достоверную информацию не только о глубинном строении верхних слоев земной коры, но и общую картину тектонической активности территории и отдельных тектонических единиц. Важное практическое значение этих исследований связано с выявлением особо опасных сейсмогенных структур. Выделение последних, в данном случае, не опирается на записи уже произошедших сейсмических событий или на данные по современным вертикальным подвижкам, которые занимают в геологическом плане невероятно короткий интервал времени и не позволяют составить общую картину тектонических процессов. Наоборот, примененные в статье методы и подходы дают возможность для выделения сейсмогенных зон, где концентрация тектонических напряжений происходила тысячами и продолжается в наши дни. Эти данные являются важным ключом в понимании того, почему есть сегменты разломов, где наблюдаются сильные землетрясения, а в непосредственной близости находятся участки, где сильных сейсмических событий вообще не наблюдается. Одновременно важность такого подхода заключается в том, что появляется возможность выделения таких зон, где

сильные сейсмические события пока не наблюдались, но это не означает, что они там невозможны.

Поступила 18.10.2018

ЛИТЕРАТУРА

1. **Симонян Г.П.** О новой карте неотектоники территории Армении. // Ученые записки ЕГУ, 1995, № 1, с. 94–99.
2. **Саргсян Р.С.** О результатах исследований морфотектонических связей между кристаллическим фундаментом, осадочным слоем и современным рельефом территории Армении. // Ученые записки ЕГУ. Геология и география, 2016, № 1, с. 11–17.
3. **Орлова А.В.** Блоковые структуры и рельеф. М.: Недра, 1975, 232 с.
4. **Авдалян А.Г., Оганесян А.О., Фиданян Ф.М., Саргсян Р.С.** Уточнение гравитационной модели поверхности и блокового строения кристаллического фундамента земной коры территории Армении по истинным плотностям промежуточного слоя. Сб. научных трудов I Международной научной конференции молодых ученых “Современные задачи геофизики, инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства”. Ер., 2013, с. 151–156.
5. **Etchebehere M.L.C., Saad A.R., Santoni G.C., Casado F.C., Fulfaro V.J.** Detecção de Prováveis Deformações Neotectônicas no Vale do Rio do Peixe, Região Ocidental Paulista Mediante Aplicação de Índices RDE (Relação Declividade-Extensão) em Segmentos de Drenagem. // Geociências, 2006, v. 25, p. 271–289.
6. **Гвин В.Я.** Карты изолонг. Применение геоморфологических методов в структурно-геологических исследованиях. М.: Недра, 1970, с. 73–76.
7. **Strahler A.** Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks (Handbook of Applied Hydrology). NY, 1964, p. 4–39.
8. **Хортон Р.Е.** Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов. Гидрофизический подход к количественной морфологии. М.: Изд-во Иностран. Лит., 1948, 158 с.
9. **Hack J.T.** Stream-Profile Analysis and Stream-Gradient Index. // Journal of Research of USGS, 1973, v. 1, № 4, p. 421–429.
10. Схематическая инженерно-геологическая карта условий развития оползней, обвалов и осыпей на территории Армянской ССР (под ред. А.Т. Асланяна). Ер.: АРМГИПРОЗЕМ, 1986.
11. **Бурмин В.Ю., Аветисян А.М., Сергеева Н.А., Казарян К.С.** Некоторые закономерности проявления современной сейсмичности Кавказа. // Сейсмические приборы, 2013, т. 49, с. 11–17.
12. **Бурмин В.Ю., Шемелева И.Б., Флейфель Л.Д., Аветисян А.М., Казарян К.С.** Результаты обработки сейсмологических данных для территории Армении. // Вопросы инженерной сейсмологии, 2016, т. 43, № 1, с. 29–39.
13. **Годзиковская А.А.** База данных “Каталог землетрясений Кавказа с $M \geq 4,0$ ($K \geq 11,0$) с древнейших времен по 2000 г.”.

Ռ. Ս. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Կ. Ս. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

ՀՀ ՏԱՐԱԾՔԻ ՏԵԿՏՈՆԱՊԵՍ ԱԿՏԻՎ ԲԼՈԿՆԵՐԻ ՏԱՐԱՆՁԱՏՈՒՄԸ
ԵՎ ԽՁՎԱԾՔՆԵՐԻ ՍԵՅՍՍԱՏԵԿՏՈՆԱԿԱՆ ՊՈՏԵՆՑԻԱԼԻ
ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ ՏԵԿՏՈՆԱԵՐԿՐԱԶԵՎԱԲԱՆԱԿԱՆ ԵՎ
ՍԵՅՍՄԱԲԱՆԱԿԱՆ ՏՎՅԱԼՆԵՐԻ ՀԱՄԱԼԻՐՈՎ

Ա մ փ ո փ ո մ

Հոդվածում իրականացվել է տեկտոնաերկրաձևաբանական վերլուծություն ՀՀ տարածքի բլոկների տեկտոնական ակտիվության ուսումնասիրման

նպատակով: Այդ վերլուծության միջոցով առանձնացվել են առավել ակտիվ և պասիվ բլոկային միավորները: Ուսումնասիրվել է բլոկների տեկտոնական ակտիվության և սեյսմիկության միջև եղած կապը, որի արդյունքում բացահայտվել են տարբեր մեծության սեյսմիկ իրադարձությունների կենտրոնացման ընդհանուր օրինաչափություններ պայմանավորված՝ միջբլոկային տեկտոնական որոշակի իրավիճակներով: Բլոկների տեկտոնական ակտիվության տարբերության հիման վրա իրականացվել է խզվածքների տարբեր սեզմոտոնների սեյսմատեկտոնական պոտենցիալի որակական գնահատում:

R. S. SARGSYAN, K. S. GHAZARYAN

ASSIGNMENT OF TECTONICALLY ACTIVE BLOCKS OF THE
TERRITORY OF ARMENIA AND ASSESSMENT OF FAULTS
SEISMOTECTONIC POTENTIAL BY COMPLEX OF
TECTONIC-GEOMORPHOLOGICAL AND SEISMOLOGICAL DATA

Summary

In the article tectonic-geomorphological analyses were done with the aim of tectonic activity observation of blocks of the territory of Armenia. By analyses the most active and passive block units were highlighted. The relations between blocks tectonic activity and seismicity were observed, in the result of which general regularities of confinement of seismic events (with different strength) to certain interblock tectonic situations were revealed. On the bases of block tectonic activity differences the qualitative assessment of seismotectonic potential of fault different segments was done.