

ЛИТЕРАТУРА

1. Асланян А. Т., Гулян Э. Х. и др. Техутское медно-молибденовое месторождение.—Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1980, т. XXXIII, № 5, с. 3—24.
2. Борискин В. П., Кузьмина С. В. Особенности генезиса бирюзы Средней Азии.— В кн.: Драгоценные и цветные камни. М: Наука, 1980, с. 265—282.
3. Жеребцов Ю. Д., Политков М. И. и др. О возможности оценки зон сульфидной минерализации на золото по электрофизическим свойствам пиритов (на примере месторождения Мурунтау).—Изв. АН КазССР, сер. геол., 1978, № 3, с. 44—50.
4. Ивойлова Э. Х., Запланова Г. А., Сейранян В. Б. Мессбауэровские исследования бирюзы. IX Всесоюзное совещание по рентгенографии минерального сырья. Тезисы докладов, Казань, 1983, с. 292.
5. Менчинская Т. И. Новые данные о генезисе бирюзы Средней Азии.—Сов. геология, 1971, № 8, с. 157—163.
6. Менчинская Т. И. Бирюза. М: Недра, 1981. 159 с.
7. Розова Е. В. Об использовании коэффициента термоэлектродвижущих сил некоторых минералов-полупроводников при изучении рудных месторождений.—Тр. ЦНИГРИ, М.: 1969, вып. 86, ч. 2, с. 75—85.
8. Розова Е. В. Об изменчивости термоэлектрических свойств пиритов золоторудных месторождений.—Тр. ЦНИГРИ, М.: 1969, вып. 86, ч. 2, с. 86—95.
9. Сейранян В. Б., Саркисян С. Ш. Бирюза из Армении—Сов. геология, 1976, № 2, с. 142—148.
10. Сейранян В. Б., Саркисян С. Ш. Новый тип медно-молибденового оруденения в Сомхето-Карабахской зоне (Малый Кавказ).—Сов. геология, 1977, № 8, с. 77—87.
11. Смолин Ю. К. К вопросу о проявлениях бирюзы в Центральном Кызыл-Куме.— В кн.: Геология, петрография, минералогия эндогенных месторождений Средней Азии. М: Недра, 1971. с. 28—31.
12. Jarry Blair. A ton of turquoise at Ringman, Arisona.—Lapidary Journal, 1967. 2, pp. 74—82.
13. Haynes S. J. Turquoise color and supergene environment, Sar Cheshmich. Iran: В сб.: Самоцветы. Материалы XI съезда ММА, Новосибирск, 4—10 сентября, 1978., Л: Наука, 1980, с. 105—110.

Известия АН АрмССР, Науки о Земле, XL, № 6, 60—65, 1987

УДК 550.348.436.098 (479)

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Ю. Р. БАГДАСАРЯН

К ВОПРОСУ СТАЦИОНАРНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ТАВРО-КАВКАЗА

Вопрос о стационарности сейсмического режима любого сейсмоактивного района является одним из опорных вопросов региональной сейсмологии. Этим понятием невольно приходится пользоваться при решении ряда теоретических и практических задач сейсмологии и сейсморайонирования. Например, выделение квазиоднородных сейсмоактивных зон, определение долговременных средних характеристик сейсмичности и т. д. базируются на предполагаемой стационарности изучаемого сейсмического режима. Однако, принимать режим в качестве стационарного на гипотетической основе без фактического установления стационарности может привести к неверным выводам. Поэтому, в ряде случаев просто необходима проверка гипотезы о стационарности исследуемого сейсмического режима за какой-то срок.

Известно, что афтершоки сильных землетрясений нарушают «стабильный» ход сейсмичности и усложняют ее изучение. По этой причине при изучении вопроса стационарности сейсмического режима, как правило, исключают повторные толчки, в результате чего получается подпространство основных землетрясений, которое очень близко к стационарному процессу. Целесообразность такого подхода обусловлена тем, что в большинстве случаев афтершоки несут весьма малую часть затраченной сейсмической энергии. Однако заметим, что нередко землетрясения имеют несколько равных себе по энергии афтершоков или же повторные толчки представляют определенный интерес с точки зрения сейсмической опасности. Примерами могут служить Ардаганское землетрясение от 25.3.1976 г. с магнитудой $M=5$, Ванское—от 24.11.1976г. с магнитудой $M=7$ и т. д. В течение недлительного афтершокового периода первого землетрясения за ним последовали два афтершока с магнитудой $M \sim 5$, афтершоковый процесс Ванского землетрясения, который продолжался примерно 2, 5 года, в своем составе имел 10 сейсмических событий с магнитудой $M \geq 5$. В условиях Тавро-Кавказа, где подавляющее большинство очагов землетрясений расположено в земной коре, такие афтершоки являются 6—8-балльными землетрясениями. Так что их

исключение при исследовании вопроса о стационарности сейсмического режима наблюдаемого региона может привести к нереальному представлению в отношении изучаемого вопроса с точки зрения сейсмической опасности.

По повторяемости сильных землетрясений Тавро-Кавказ можно отнести к числу регионов «средней» сейсмичности. К тому же пространственно-временное распределение этих землетрясений показывает, что на Кавказе уровень сейсмической активности значительно ниже, чем на территории, занимаемой Таврами. Но тем не менее, статистика землетрясений с магнитудой $M \geq 5$ за период 1957—1981 гг. по региону показывает, что средняя повторяемость таких событий составляет 0,21 лет. Такую активность можно считать «средней» и обусловлена в первую очередь известными сейсмоактивными разломами, порождающими землетрясения в 7—9 баллов. Однако заметим, что детальное статистическое исследование сейсмического режима с точки зрения стационарности вдоль конкретных разломов или для отдельных очаговых зон в настоящее время невозможно из-за малочисленности статистики сильных землетрясений, приуроченных к определенным разломам. В связи с этим мы рассматриваем вопрос в масштабе региона. При этом исследуются три совокупности землетрясений:

- 1. $A \rightarrow M \geq 5; \quad T = 1957 - 1981 \text{ гг.} = 25 \text{ лет}$
- 2. $B \rightarrow M \geq 5,5; \quad T = 1911 - 1980 \text{ гг.} = 70 \text{ лет}$
- 3. $C \rightarrow M \geq 6; \quad T = 1902 - 1981 \text{ гг.} = 80 \text{ лет,}$

где выбор сроков наблюдений обусловлен представительностью рассмотренных землетрясений.

В настоящей статье проверка гипотезы о стационарности сейсмического режима Тавро-Кавказа осуществляется тремя вариантами [2]:

- 1. Сопоставляются экспериментальные частоты землетрясений с теоретическим распределением Пуассона.
- 2. Проверяется постоянство изучаемых дисперсий, математических ожиданий, корреляционных функций во времени.
- 3. Сравниваются эмпирические распределения за два неперекрывающихся срока наблюдений.

Как уже отмечалось выше, нами рассматриваются три (А, В, С) совокупности землетрясений Тавро-Кавказа. В каждой группе производятся пять экспериментов т. е. сопоставляются наблюдаемые частоты повторяемости землетрясений с распределением Пуассона, относящимся к 5-ти различным элементарным интервалам времени ΔT . Примером такого эксперимента служит табл. 1. Гипотеза о том, что распределе-

Таблица 1
Распределение повторяемостей землетрясений с магнитудой $M \geq 5$ Тавро-Кавказа по полугодовым интервалам и его сравнение с теоретическим распределением Пуассона за период 1957—1981 гг.

<i>m</i>	<i>I</i>	ν	<i>P</i>	$(\nu - P)^2 / P$
0	6	0,120	0,091	0,0092
1	10	0,200	0,218	0,0015
2	15	0,300	0,262	0,0055
3	7	0,140	0,207	0,0217
4	7	0,140	0,124	0,0021
5	2	0,100	0,094	0,0004
6	1			
7	1			
8	1			

50 $r = 4, \quad \chi^2_{\text{наб}} = 2,02; \quad \chi^2_{\text{кр}} = 9,49$

Примечание: *m*—число землетрясений; *I*—число интервалов *m* числом землетрясений; ν —экспериментальная частота; *P*—распределение Пуассона с параметром $a = 2,4$; $(\nu - P)^2 / P$ — значения меры расхождения; *r*—число степеней свободы, $\chi^2_{\text{наб}}$, $\chi^2_{\text{кр}}$ —наблюдаемые и критические значения χ^2 Пирсона.

ние экспериментальных частот следует закону Пуассона, проверялась с помощью критерия χ^2 Пирсона. Как видно из табл. 1 и рис. 1 [4], при 5-процентном уровне значимости распределение Пуассона с параметром $a = 2,4$ хорошо согласуется с экспериментальным распределением, т. е. нет никаких оснований опровергнуть гипотезу. В табл. 2 приведены основные данные и результаты 15 экспериментов. Для

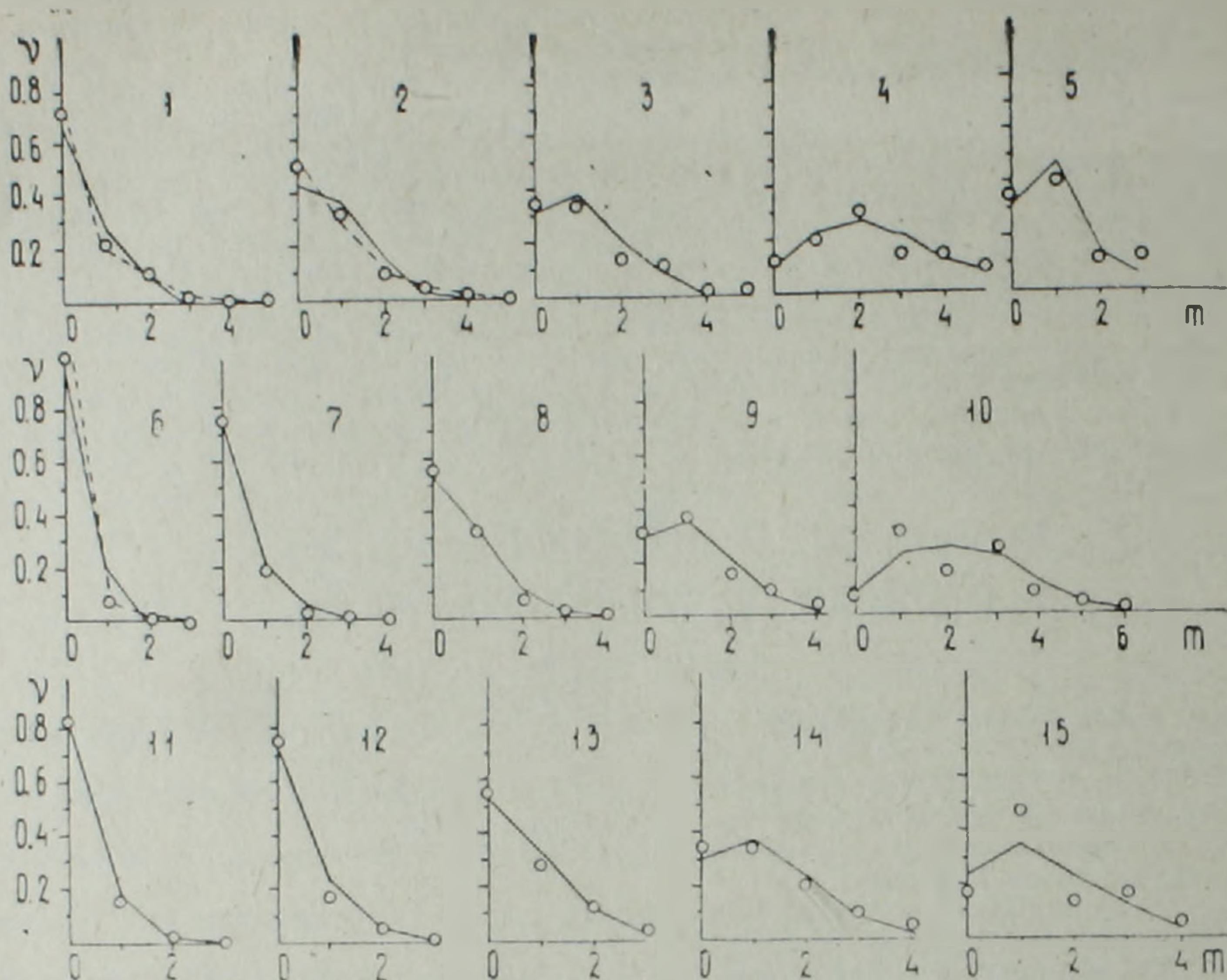


Рис. 1. Сопоставление экспериментальных частот землетрясений с распределениями Пуассона и Пойя. Кружки—экспериментальное распределение, сплошная линия—распределение Пуассона, пунктир—Пойя.

всех случаев гипотеза проверялась с помощью критерия Пирсона при 5-процентном уровне значимости. Из табл. 2 и рис. 1 можно заключить, что экспериментальный материал не противоречит распределению Пуассона, кроме случаев 1, 2, 6. Для них проведены повторные эксперименты, где в качестве теоретического принималось распределение Пойя. Как видно из рис. 1 (1, 2, 6) и табл. 2, получается хорошее согласие. Фактически из 15 экспериментов в 12 случаях рассмотренные совокупности А, В, С следуют закону Пуассона. Уклонение от этого закона в случаях 1, 2, 6 объясняется, по всей вероятности, связью между сейсмическими событиями [2]. Таким образом, подытожив результаты проведенных экспериментов, можно заключить, что нет никаких оснований опровергать гипотезу о стационарности сейсмического режима Тавро-Кавказа, так как весь экспериментальный материал описывается конкретным теоретическим распределением с фиксированными параметрами. Однако, как справедливо отмечается в работе [2], метод установления стационарности сейсмического режима сопоставлением экспериментальных и теоретических частот обладает серьезным недостатком—не учитывается распределение землетрясений в элементарных интервалах времени ΔT .

В табл. 2 приведены также значения параметра R рассеяния повторяемости землетрясений во времени. Как известно [4],

$$R = \sigma_N / \sqrt{\bar{N}},$$

где σ_N —среднее квадратичное отклонение одиночного определения $\bar{N}$. Ошибка σ_R рассчитывалась по формуле:

$$\sigma_R = R \sqrt{\frac{1}{2n-1} + \frac{R^2}{4N_{\Sigma}}},$$

где N_{Σ} —общее число землетрясений, а n —число элементарных интервалов времени ΔT [2]. Во всех случаях вариация R вблизи 1 незначительна, т. е. наблюдаемые режимы можно считать «стабильными» [1].

Следующий путь установления стационарности сейсмического режима—классическое определение стационарности случайного процесса, т. е. требуется постоянство выборочных средних, дисперсий и корреляционных функций во времени. С этой целью изучается ход выборочных средних и дисперсий годовых чисел землетрясений для совокупностей В и С и трехмесячных для А. Более того, были построены прямые регрессии между вышеуказанными числами землетрясений и временем. Дисперсии

подсчитывались с учетом получения несмещенной оценки. Для совокупностей А, В, С соответственно получены 100, 70, 80 значений дисперсий и математических ожиданий. Затем методом наименьших квадратов эти значения аппроксимировались прямой $y=kt+b$. Результаты аппроксимации сведены в табл. 3.

Таблица 2

Результаты сопоставлений экспериментальных частот повторяемости сильных землетрясений Тавро-Кавказа с теоретическими распределениями Пуассона и Пойя

Основные данные					Проверка гипотезы		Значения параметра R
N	M	T	ΔT	a	$\chi^2_{наб}$	$\chi^2_{кр}$	$R \pm \sigma_R$
1	≥ 5	1957—1981	1	0.4	3.33	3.84	1.255 ± 0.088
2			2	0.8	7.74	5.59	1.239 ± 0.100
3			3	1.2	2.25	7.82	1.189 ± 0.106
4			6	2.4	2.02	9.49	1.140 ± 0.129
5			12	4.8	1.06	3.82	1.291 ± 0.199
6	> 5.5	1911—1980	1	0.10	1.68	3.84	1.138 ± 0.075
7			3	0.31	2.21	3.84	1.141 ± 0.085
8			6	0.61	5.96	5.99	1.073 ± 0.089
9			12	1.22	2.39	5.99	1.046 ± 0.106
10			24	2.45	3.53	7.82	1.020 ± 0.146
11	> 6	1902—1981	4	0.20	2.28	3.84	1.081 ± 0.097
12			6	0.31	4.54	5.99	1.100 ± 0.106
13			12	0.61	1.04	5.99	1.020 ± 0.109
14			24	1.22	1.74	5.99	1.040 ± 0.143
15			30	1.53	5.39	5.99	0.294 ± 0.131

Примечание: N—нумерация экспериментов (соответствует номерам рис. 1); M—магнитуда землетрясений; T—период наблюдений; ΔT —элементарный интервал времени в месяцах; a—среднее число землетрясений за время ΔT ; $\chi^2_{наб}$, $\chi^2_{кр}$ —соответственно наблюдаемые и критические значения χ^2 Пирсона.

Как видно из табл. 3, полученные уравнения математических ожиданий, дисперсий и прямых регрессий не показывают определенной тенденции развития этих величин во времени. Для всех случаев значение угла наклона α настолько мало, что практически можно игнорировать. К тому же он меняет знак. Проверка гипотезы о существовании связи между изучаемыми величинами и временем с помощью неравенства [3]

$$r_{xt} \sqrt{n-1} \geq 3,$$

где r_{xt} —коэффициент корреляции, а n—объем выборки, приводит к противоречию, т. е. связь между E, D, R и t не обоснованна.

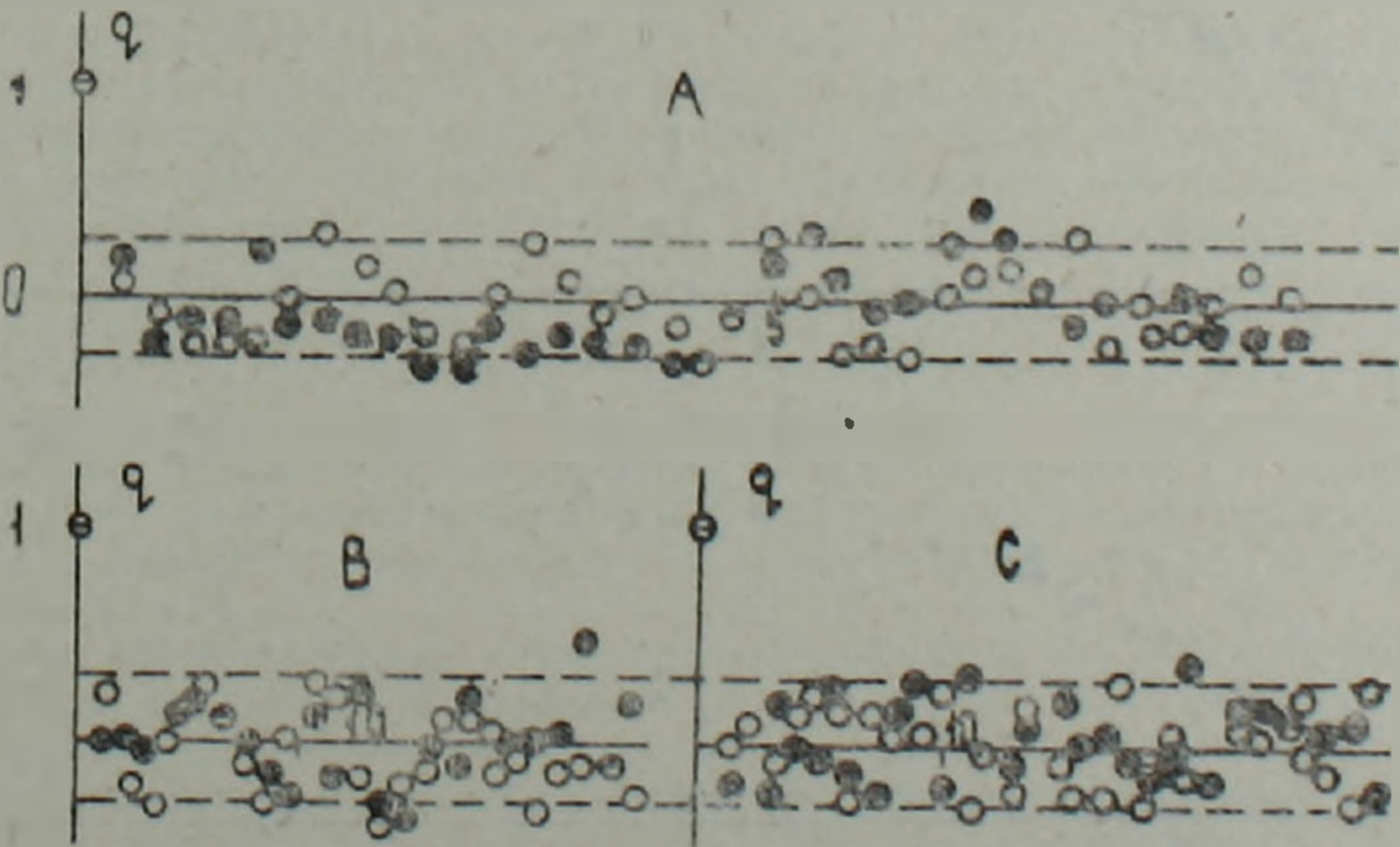


Рис. 2. Корреляционные функции трехмесячных (А) и годовых (В, С) чисел землетрясений. Пунктир—граница средних квадратичных отклонений. Светлые кружки—первая половина периода наблюдений, черные—вторая.

На рис. 2 представлены корреляционные функции трехмесячных чисел землетрясений для совокупности А и годовых для В, С. С целью сравнения периоды наблюдений разделены на две равные части. Как видно на рис. 2, они повторяют друг друга, т. е. находятся в одинаковых пределах. Практически их можно отождествить с корреляционной функцией случайного белого шума [2]. Следовательно, и второй путь установления стационарности не приводит к противоречию с гипотезой о предположении стационарности сейсмического режима Тавро-Кавказа.

Таблица 3

Результаты аппроксимаций и сравнение выборок из генеральной совокупности

Основные данные		Результаты аппроксимаций		Проверка гипотезы	
$M; T$	ΔT	E, D, R	α^0	$d_{\text{наб}}$	$d_{\text{кр}}$
$M \geq 5$ $T = 1957 - 1981$	0.25	$E = -0.0033t + 1.4395$ $D = -0.0028t + 1.4581$ $R = -0.0071t + 1.2799$	-0.19 -0.16 -0.40	0.08 < 0.23	
$M \geq 5.5$ $T = 1911 - 1980$	1	$E = 0.0023t + 1.0450$ $D = -0.0047t + 1.4868$ $R = 0.0040t + 1.0570$	0.13 0.26 0.22	0.09 < 0.27	
$M \geq 6$ $T = 1902 - 1981$	1	$E = -0.0016t + 0.6711$ $D = -0.008t + 0.5880$ $R = -0.0005t + 0.5962$	-0.09 -0.04 -0.03	0.18 < 0.35	

Примечание: M —магнитуда землетрясений; T —период наблюдений; ΔT —элементарный период наблюдений в годах; E —маг. ожидание; D —дисперсия; R —прямая регрессия; α —угол между E, D, R и осью t ; $d_{\text{наб}}$ —максимальное расхождение между экспериментальными функциями; $d_{\text{кр}}$ —критическое значение для 5-процентного уровня значимости.

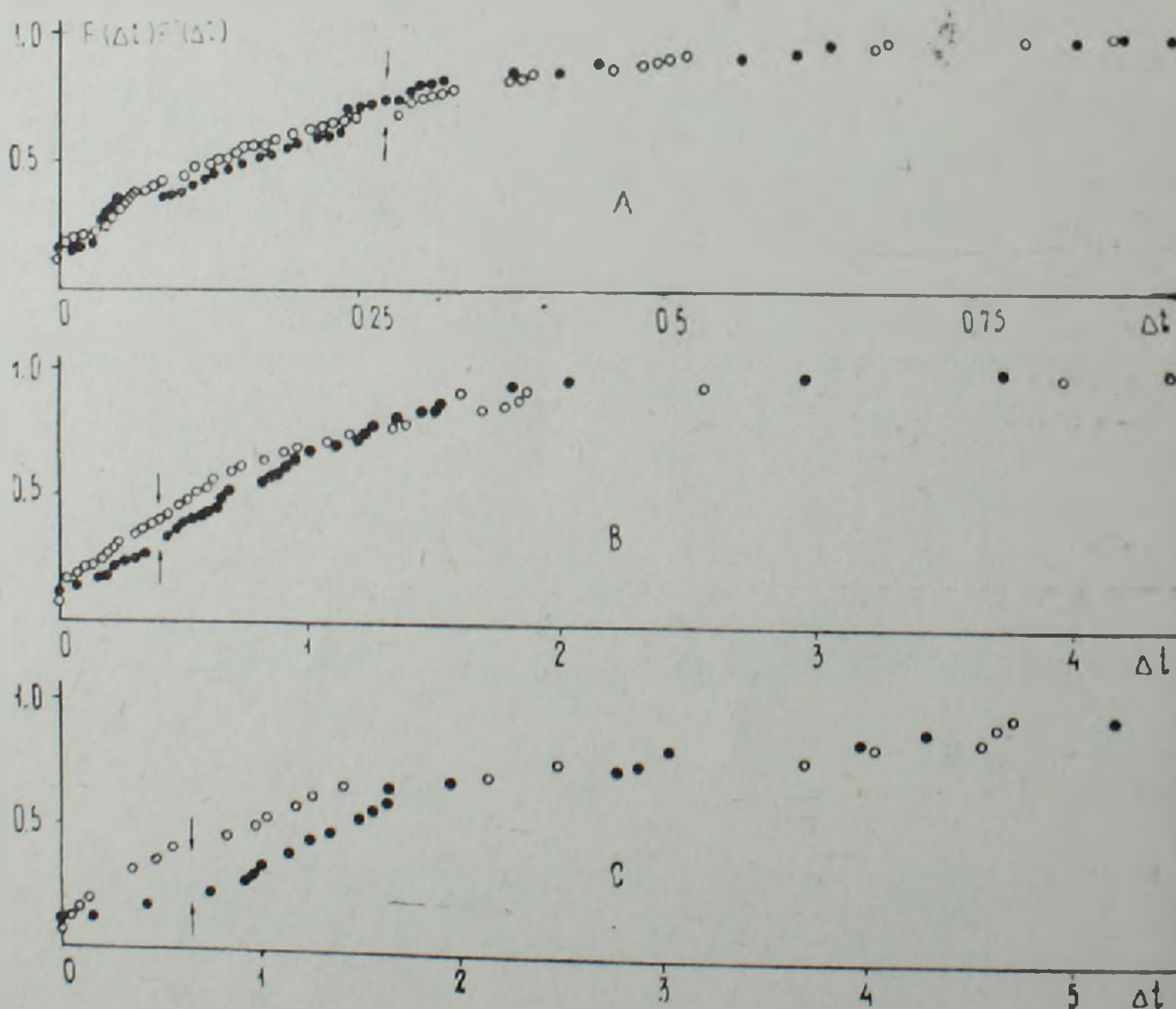


Рис. 3. Сравнение эмпирических функций распределения промежутков времени Δt (в годах) между последовательными землетрясениями Тавро-Кавказа. Светлые кружки—первая половина периода наблюдений, черные—вторая.

Третий вариант проверки стационарности заключается в сравнении выборок из генеральной совокупности, относящихся к разным интервалам времени. В связи с этим сроки наблюдений разделены на две равные части. Были построены соответствующие вариационные ряды промежутков времени между последовательными землетрясениями Тавро-Кавказа и отвечающие им функции распределений. Для сопоставления применялся критерий Смирнова [2]. Результаты сравнения сданы в табл. 3. Как видно из рис. 3 и табл. 3, наблюдаемые значения $d = \sup |F - F'|$ во всех случаях меньше критических, т. е. и третий вариант проверки гипотезы не приводит к противоречию.

Таким образом, комплексный статистический подход к изучению вопроса стационарности сейсмического режима сильных землетрясений Тавро-Кавказа однозначно указывает на стационарность (в широком смысле) этого режима за наблюдаемые сроки.

Институт геофизики и инженерной
сейсмологии АН АрмССР

Поступила 1.XII.1986

ЛИТЕРАТУРА

1. Гайский В. Н., Каток А. П. Некоторые вопросы, связанные с изучением сейсмического режима, на примере землетрясений Памиро-Гиндукушской зоны.—Тр. Института сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН Таджикской ССР, Душанбе, 1960, том VII, с. 27—39.
2. Гайский В. Н. Статистические исследования сейсмического режима. М.: Наука, 1970, с. 7—42.
3. Данко П. Е., Попов А. Г., Кожевникова Т. Я. Высшая математика (часть II). М.: Высшая школа, 1980, 203 с.
4. Джигладзе Э. А., Натенадзе Э. Н., Кобидзе Р. Ф. Некоторые особенности сейсмичности Джавахетского нагорья.—Сейсмологический бюллетень Кавказа 1978, Тбилиси: Мецниереба, 1981, 231 с.

Известия АН АрмССР, Науки о Земле, XL, № 6, 65—68, 1987

УДК: 550.348.098.64

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

А. Х. БАГРАМЯН

СТРОЕНИЕ И УСЛОВИЯ СЕЙСМИЧНОСТИ ЗАГРОССКОЙ СЕЙСМОАКТИВНОЙ ЗОНЫ

В соответствии с теорией тектоники плит [1, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 12] сейсмические процессы, наблюдаемые на Кавказе, являются результатом столкновения в основном Евразийской и Аравийской плит. В эти сложные геодинамические процессы, кроме указанных плит, вовлечены также Иранская, Турецкая, Лутская, Афганская, Черноморская, Южно-Каспийская плиты сравнительно меньших размеров перемещающиеся относительно друг друга. Изучение сложных геодинамических и многочисленных особенностей взаимодействия плит вдоль их границ даст возможность выделить критерии для долгосрочного прогноза.

Аравийская плита по своей величине выделяется из числа плит, расположенных к югу от Русской платформы, воздействие которой на них проявляется в сейсмоактивных разрывных зонах Загроса и Восточной Анатолии. Система сейсмоактивных разломов Загросской зоны является границей между Аравийской и Иранской плитами.

Для изучения пространственного распределения очагов землетрясений этой зоны использовались данные о землетрясениях с магнитудами $M \geq 4$ за период времени 1900—1981 гг. [6, 11].

Загросская сейсмоактивная зона, протягивающаяся от сейсмогенного узла Восточной Анатолии до Омана и имеющая длину порядка 1800 км, является одним из основных структурных элементов в тектонике Альпийско-Гималайского пояса и отделяется от Аравийской плиты Месопотамским передовым прогибом. В структурном отношении она является результатом столкновения Аравийской и Иранской плит. На основе проведенных исследований обнаружено, что Загросская зона надвига является субдукционной зоной, на которой был закрыт в позднемиоценовый период океан Тетис и на которой Аравийская и Иранская плиты соединились в раннем палеогене. С дрейфом Аравии в северном направлении связано образование Красного моря и