

УДК 550.343.62

ГЕОФИЗИКА

Член-корреспондент АН СССР И. М. ГЕЛЬФАНД, И. А. ГУБЕРМАН,
М. П. ЖИДКОВ, М. С. КАЛЕЦКАЯ, В. И. КЕЙЛИС-БОРОК,
Е. Я. РАНЦМАН

ОПЫТ ПЕРЕНОСА КРИТЕРИЕВ ВЫСОКОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ СО СРЕДНЕЙ АЗИИ НА АНАТОЛИЮ И СМЕЖНЫЕ РЕГИОНЫ

Здесь исследуется вопрос, можно ли распознать места возникновения сильных землетрясений в четырех регионах Малой Азии и Юго-Восточной Европы по тем критериям, которые были найдены в (5, 9) для Тянь-Шаня и Памира. Сильными мы называем землетрясения с магнитудой $M \geq 6,5$, высокосейсмичными — места, где такие землетрясения возможны.

Согласно (5, 9), на Тянь-Шане и Памире сильные землетрясения возникают только в дизъюнктивных узлах и притом лишь в некоторых узлах, характеризуемых рядом специфических признаков, которые приводятся в табл. 1; эти признаки были найдены с помощью программы распознавания KOPA-3 (2).

В данной работе рассматриваются следующие регионы: Анатолия (А); Армянское нагорье, включая хребты Малого Кавказа (З); Балканы (Б); бассейн Эгейского моря (Э). Как будет показано в другой статье, сильные землетрясения и здесь возникают только в дизъюнктивных узлах, причем известные по инструментальным данным эпицентры таких землетрясений приурочены к 36 узлам; всего же здесь выделено 119 узлов (рис. 1).

Посмотрим, можно ли распознать эти 36 узлов по признакам, указанным в табл. 1. Мы написали для каждого узла характеристики, перечисленные в примечаниях к табл. 1. Некоторые априорные изменения были введены в пороги для численных характеристик (в соответствии с их гистограммами), а также в классификацию морфоструктур (соответственно специфике рельефа отдельных регионов); эти изменения перечислены в табл. 2 и в примечаниях к табл. 1. Затем мы подсчитали, сколько признаков *В* и *Н*, указанных в табл. 1, имеет каждый узел. Разность Δ числа этих признаков приводится в табл. 3. Согласно найденным в (5, 10) критериям, к *В* относились те узлы, для которых $\Delta \geq -3$. Как видно из табл. 3, на рассматриваемой территории по этим критериям правильно распознаются 34 из тех 36 узлов, где по инструментальным данным фактически были сильные землетрясения.

Для фиксированных узлов распознавание устойчиво: как видно из табл. 3, оно сохраняется при уменьшении порога для M до 6,3, а также при увеличении порога для Δ ; анализ показал, что оно сохраняется и при изменении на $\pm 10\%$ порогов из табл. 2. Табл. 3 показывает, что распознаются также 14 из 17 узлов, в которых по неинструментальным данным были девяти- или десятибалльные землетрясения.

Успешное распознавание почти всех узлов, где известны сильные землетрясения, позволяет рассчитывать, что $\Delta \geq -3$ и для большинства тех узлов, где сильные землетрясения пока не известны, но возможны. Однако предсказывать по табл. 3 высокую сейсмичность всех узлов с такими Δ было бы преждевременно: почти полное отсутствие ошибок типа «пропуск цели» заставляет подозревать большое число «ложных тревог». Не исключено, что оно уменьшится, если сформировать признаки *В* и *Н* для каждого региона в отдельности.

Таблица 1

Признаки узлов *B* и *H* для Тянь-Шаня и Памиро-Алая (по (5))

Пороги	T	Характеристики узлов																		
		n		M			r		C				h		A		S			
		2	≥3	г.с.	м.о.	м.б.	б.	≤r ₁	≤r ₂	г.в.р.	г.в.	г.р.	г.г.	в.р.	≤h ₁	≤h ₂	A ₁	A ₂	S ₁ - S ₂	>S ₂
<i>B</i>		0				0	1			0							0	0	0	0
					0	0		1									0	0	0	0
		0				0		1									0	0	0	0
		0				0		1	0								0	0	0	0
<i>H</i>		1					0										1	0	1	0
		1				0						0	0	0			1	1	1	1
		1				0						0	0				1	1	1	1
		1	1	0	0		0													

Приложения. 1) *B* и *H* — узлы, где сильные землетрясения соответственно возможны (высокосейсмичные) и невозможны. 2) Характеристика узлов: *n* — число разломов; *M* — масштаб наибольше крупных морфоструктур, разделляемых разломами (г.с. — горные страны, м.о. — морфоструктурные области, м.б. — мегаблоки, б. — блоки); *r* — расстояние до активных в новейшее время разломов, разделенных г.с. или м.о.; *C* — сочетание морфоструктур (г. — горы, в. — предгорные возвышенности, р. — подгорные равнины); *h* — максимальная высота, км; *A* — размах высот, км; *S* — относительная площадь рыхлых толщ, %. Т — тип поперечных разломов в узле. 3) 0 в коде характеристики означает отрицание, а 1 — выполнение утверждения в зачленке столбца. Например, 0 в 2-м столбце означает $n > 3$; 1 в первом столбце означает наличие двух типов поперечных разломов (см. (%)). Пороги для численных характеристик указаны в табл. 2. Изменения классификации морфоструктур для регионов, рассмотренных в этой работе: г.с. — регионы и морфоструктурные страны; м.б., б. — районы; в. — плато; р. — равнины (для региона Э — море).

Таблица 2

Пороги численных характеристик в различных регионах

Регион	r ₁	r ₂	h ₁	h ₂	A ₁	A ₂	S ₁	S ₂
Средняя Азия	30	70	3	4	4,5	2,5	20	50
	10	70	2	3	4,5	2,5	20	70
	10	70	1	1,5	0,8	4,8	10	60
	10	70	0,8	1,7	4,9	2,7	20	50

Заметим, что те сочетания характеристик, которые служат признаками *B* и *H* для Тянь-Шаня и Памира, могли бы вообще не встречаться в узлах других регионов. Фактически они встречаются часто — в среднем по 7 на узел. Опыт работ по распознаванию показывает, что это обстоятельство не тривиально; оно подтверждает, что рассмотренные признаки *B* и *H* не формальны, а отражают реальные условия возникновения сильных землетрясений.

Поставленный вначале вопрос решен положительно: места возникновения сильных землетрясений в рассмотренных регионах связаны с

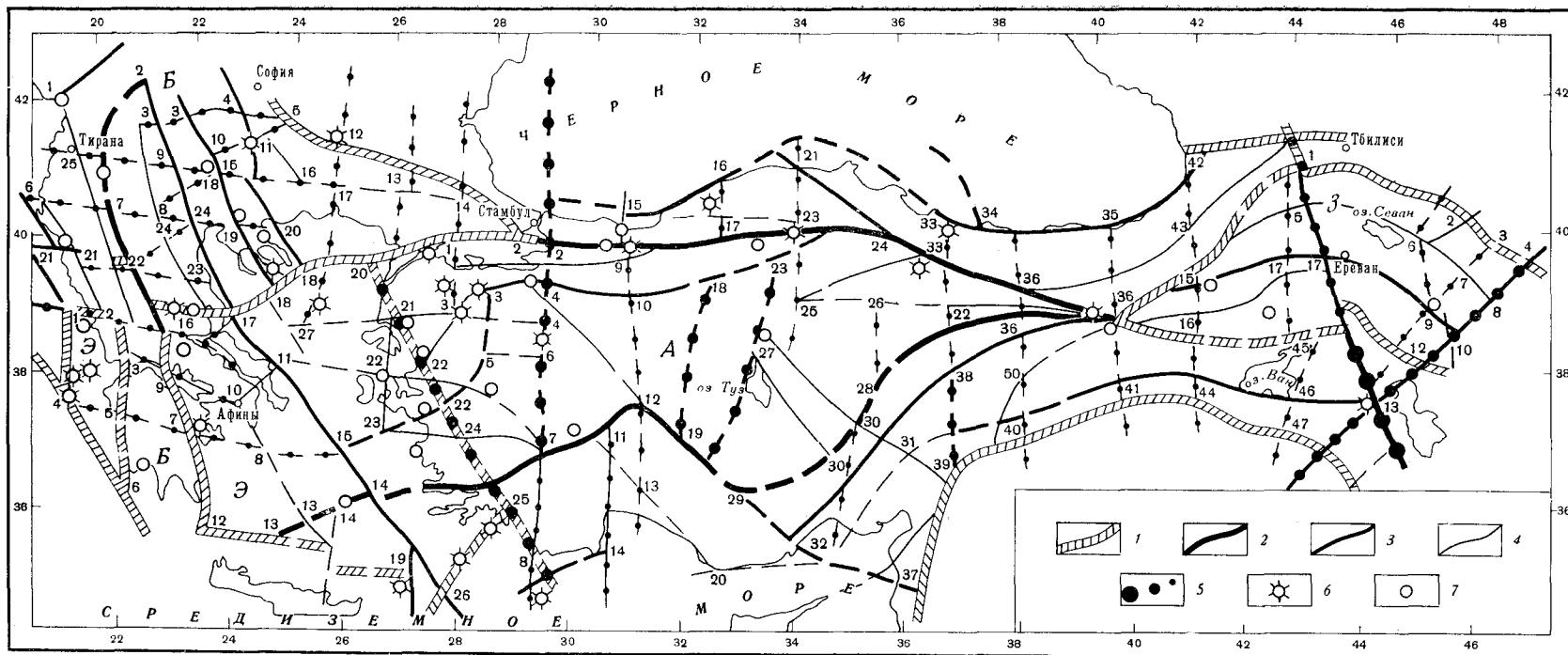


Рис. 1. Морфоструктурная схема Юго-Восточной Европы и Малой Азии. 1—5 — морфоструктурные границы (1—4 — продольные, 5 — поперечные к простиранию основных форм рельефа): 1 — регионов; 2 — морфоструктурных стран; 3 — областей; 4 — районов. 6—7 — эпицентры сильных землетрясений с магнитудой $6,5 \leq M \leq 6,9$ (7), $M \geq 7$ (6); цифры — номера дизьюнктивных узлов

Таблица 3

Результаты голосования

Δ	Регионы				Δ	Регионы			
	А	З	Б	Э		А	З	Б	Э
11	8.36	11.12	25.22	18.25	-4	4.11.27	6	14	27
10	30.39	1	7			14			
9	47.48		5		-2	19.20	2	12	10.24
8		9.10	11.3.24			22.35			
7				4.7.9		41.44			
6	49.28		9.23		-3	12.16		8.16	8
5	37	13	21	16.22	-4	24		17	
4	21.42	16.17		6.19	-5	25.32	7	10	3.11.23
	23.45			17		13.31	4		
3	7		15.4	1.26		46			
				12.20	-6	6.10	3.14	2	13
2	17.33	15	6.18			29.38			
	40.43				-7	5.26		19	15
1	3.2.34	5	1.20.13	21.2.5		50			
0	1.9			14	<-8	15.18	8		

П р и м е ч а н и я. 1) Δ — разность количества признаков *В* и *Н*. 2) Остальные числа соответствуют номерам узлов на рис. 1: прямым светлым шрифтом даются номера узлов, в которых не было землетрясений с $M \geq 6.5$: четрой снизу подчеркнуты номера узлов с $6.3 \leq M \leq 6.4$; жирным курсивом — $6.5 \leq M \leq 6.9$; жирным прямым — $M \geq 7$; четрой сверху отмечены узлы, где по неинструментальным данным были землетрясения в 9 и более баллов. 3) Данные о землетрясениях — по (1, 3, 4, 7, 11, 10, 18). 4) Каждое землетрясение отнесено к ближайшему узлу.

одними и теми же сочетаниями нескольких морфоструктурных характеристик. Может показаться неожиданным, если не парадоксальным, что столь грубые и простые характеристики оказались достаточны для распознавания высокосейсмичных узлов и притом в весьма различных регионах (необходимость этих характеристик — исключая, разве что, площадь рыхлых толщ — самоочевидна, поскольку они отражают интенсивность и контрастность новейших движений). Это можно объяснить тем, что сильные землетрясения связаны с современными движениями очень крупного масштаба: согласно (7, 12), именно при $M > \sim 6.5$ разрыв в очаге рассекает по глубине всю земную кору, а по простирианию тянется на сто километров и более. Представляется естественным, что современные движения такого масштаба можно распознать по грубым проявлениям, сходным в различных регионах. Закономерным проявлением таких движений, по-видимому, и являются указанные в табл. 1 сочетания характеристик морфоструктур — пока неясно, почему и только ли именно данные сочетания. Эти характеристики можно рассматривать как интегральные параметры новейших движений, зафиксированные в современном рельфе. Поскольку их удалось интерпретировать количественно при изучении высокой сейсмичности, возникает вопрос — можно ли судить по ним и о механизме новейших движений.

Поступило
21 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. В. Белоусов, А. А. Сорский, В. И. Бунэ, Сейсмотектоническая карта Европы, «Наука», 1967. ² М. М. Бонгарт, Н. Н. Вайнцвайг, Геология и геофизика, № 6 (1965). ³ В. И. Бунэ, И. В. Кириллова и др., Вопросы инженерной сейсмологии, в. 14, М., 1971. ⁴ Бюллетеин единой сейсмической службы СССР, «Наука», 1965—1971. ⁵ И. М. Гельфанд, Ш. А. Губерман и др., ДАН, 202, № 6, 1317 (1972). ⁶ А. В. Пейве, Тектоника, № 4 (1969). ⁷ Y. Varnava, A. Galanopoulos, N. Delibasis, Seismotectonic Map of Greece, Athens, 1971. ⁸ A. Galanopoulos, Ann. geofis., 20, № 1, 109 (1967). ⁹ J. M. Gelfand, Sh. A. Guberman et al., In: Tectonophysics, 1972. ¹⁰ Karmik Vit, Seismicity of the European Area, Parts 1, 2, Praha, 1968. ¹¹ Kazim Ergin, Ugur Yuclu, ve Zeki Uz, A Catalog of Earthquakes for Turkey and Surrounding Area, Istanbul, 1967. ¹² L. Knopoff, Geophys. J. Roy. Astr. Soc., № 1 (1958). ¹³ J. P. Rothe, La seismite du globe 1953—1965, UNESCO, 1969.