

3. Алказ В.Г. Основы прогноза сейсмической опасности и сейсмического риска территории Республики Молдова. Кишинев: Elena-VISRL, 2007. 229с.
4. Ваганов П.А. Экогеологический риск: оценка, прогнозирование и картирование // Вестник СПбГУ. Серия 7. 2003. Вып. 1. №7. С. 33-45.
5. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Пустовитенко А.Н. Новые карты общего сейсмического районирования территории Украины. Особенности модели долговременной сейсмической опасности // Геофизический журнал, 2006. № 3. С.54-77.
6. Медведев С.В., Ершов И.А., Попова Е.В. Исследование сейсмических условий Южного берега Крыма для микрорайонирования // Сейсмичность, сейсмическая опасность Крыма и сейсмостойкое строительство. К: Наукова думка, 1972. С.20-26.

УДК 550.348.435

ГЕТЕРОГЕННЫЙ ХАРАКТЕР СЕЙСМОГЕНЕЗА ЮЖНОБЕРЕЖНОЙ ЗОНЫ КРЫМА КАК ИНДИКАТОР СОВРЕМЕННЫХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК В РЕГИОНЕ

© Ю.М. Вольфман, Б.Г. Пустовитенко, Е.Я. Колесникова

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

По данным о фокальных механизмах очагов землетрясений Южнобережной зоны Крыма обосновано многообразие кинематических условий сейсмогенеза в регионе. Здесь проявлялись обстановки как разнонаправленного сжатия, так и ориентированного в разных направлениях растяжения; при этом очаги Южнобережной сейсмогенной зоны формировались в широком диапазоне деформационных режимов, что указывает на ее гетерогенный характер и сложное внутреннее строение, не позволяя обосновать принадлежность этой зоны или отдельных ее фрагментов к какому-либо одному типу сейсмогенеза. Учитывая структурно-кинематические характеристики и параметры нодальных плоскостей, рассматриваемых в качестве возможных сейсмогенных разрывов, представляется маловероятным, чтобы доминирующим геодинамическим фактором, определяющим особенности строения Крыма и прилегающих территорий, являлись современные процессы поддвига, субдукции или квазисубдукции Восточно-Черноморской плиты под Крымский полуостров.

***Ключевые слова:** сейсмогенез, фокальный механизм, поля напряжений, сейсмогенный разрыв, нодальная плоскость, стереографические модели и квазимодели, кинематическая обстановка.*

Представления о структурно-кинематических параметрах крупных сейсмогенных зон нередко формируются исключительно на основании упорядоченного расположения очагов землетрясений вдоль разрывных геоструктур разного типа, масштаба и генезиса; при этом кинематические условия сейсмогенеза априори отождествляются с обстановками (зачастую гипотетическими) формирования этих геоструктур, отражая, как правило, геодинамические предпочтения исследователя. Подобный подход во многих случаях приводит к ошибочному толкованию современных геодинамических процессов. Это наглядно проявляется в расхождении взглядов на происхождение, строение и структурно-кинематические особенности сейсмогенных зон Крымско-Черноморского региона, и в частности, Южнобережной зоны Крыма, предопределяя соответствующий этим взглядам характер рекомендаций по защите населения, зданий и сооружений от воздействия сильных землетрясений [11,12 и др.]. Так, исходя из общерегиональных положений новой глобальной тектоники (которые не оспариваются и авторами настоящей работы) о коллизионном взаимодействии Евразийской, Африканской и Аравийской литосферных плит, основная

структурообразующая роль в регионе отводится продолжающимся и в плиоцен-четвертичное время процессам поддвига, субдукции или квазисубдукции Восточно-Черноморской плиты под Горный Крым вдоль Южнобережной сейсмогенной зоны [10, 11 и др.]. Так как процессам поддвига, субдукции или квазисубдукции отводится ведущее место в формировании структуры Крыма, они должны были бы найти свое отражение и в особенностях проявления региональной сейсмичности, в том числе – в фокальных механизмах очагов землетрясений Южнобережной зоны, которые являются прямыми индикаторами современных кинематических обстановок и геодинамических процессов.

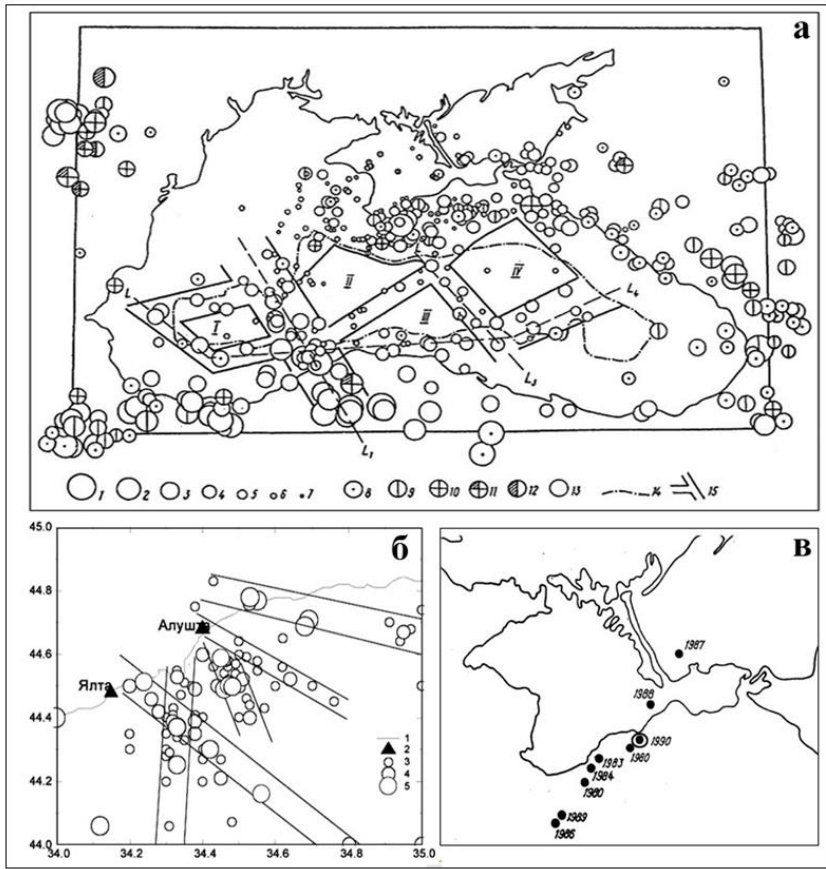


Рис. 1. Пространственная структурированность в распределении сейсмичности региона:
 а – карта-схема эпицентров землетрясений Черноморского бассейна за период 1900–1996 гг. с магнитудами:
 за период 1900–1996 гг. с магнитудами:

1 – $M \geq 7.5$; 2 – $6.5 < M < 7.4$; 3 – $5.5 < M < 6.4$; 4 – $4.5 < M < 5.4$; 5 – $3.5 < M < 4.4$; 6 – $2.5 < M < 3.4$; 7 – $1.5 < M < 2.4$ и глубинами очагов: 8 – $0 \div 15$ км; 9 – $16 \div 30$ км; 10 – $31 \div 50$ км; 11 – $51 \div 100$ км; 12 – $101 \div 150$ км; 13 – без определения глубины; 14 – контур области с «безграничной» земной корой; 15 – сейсмические линеаменты; б – структура поля эпицентров относительно слабых толчков в центральной зоне региона; в – упорядоченное расположение эпицентров землетрясений с $K \geq 10$ вдоль линеамента северо-восточного простирания в процессе подготовки более крупного землетрясения 16.08.1990 г. – обведено кружком (по [6-8]).

Поскольку результаты исследования пространственно-временных и энергетических особенностей сейсмического процесса в пределах Крымско-Черноморского региона детально освещены во многих предыдущих исследованиях [6-9 и др.], в контексте обозначенной проблемы акцентируем внимание на нескольких аспектах регионального сейсмогенеза, которые необходимо учитывать при

формировании представлений на тектоническую (геодинамическую) природу данного сегмента тектоносферы.

Во-первых, в распределении землетрясений Крымско-Черноморского региона (а за время проведения инструментальных сейсмических наблюдений зарегистрировано более 3500 событий) проявляется определенная структурированность, позволяющая выделить гетерогенные линейные зоны с высокой концентрацией очагов – сейсмические линеаменты – преимущественно диагональной ориентировки (рис. 1).

При этом основная часть землетрясений (в том числе, с наибольшим количеством выделенной сейсмической энергии) приурочена к границам глубоководной впадины Черного моря, которые трансформируются континентальным склоном, протягивающимся параллельно береговой линии. В последние десятилетия установлено, что сейсмическими процессами охвачена и центральная, ранее считавшаяся асейсмичной, часть Черноморской впадины, где линейно-решетчатый характер в распределении очагов (также преимущественно диагональной ориентировки) проявляется вполне отчетливо [7, 9 и др.].

Во-вторых, весьма показательными с геодинамической точки зрения являются установленные закономерности в глубинном положении гипоцентров, характеризующие тренды распределения сейсмичности в разных районах изучаемой территории (рис. 2) [5, 6, 10 и др.].

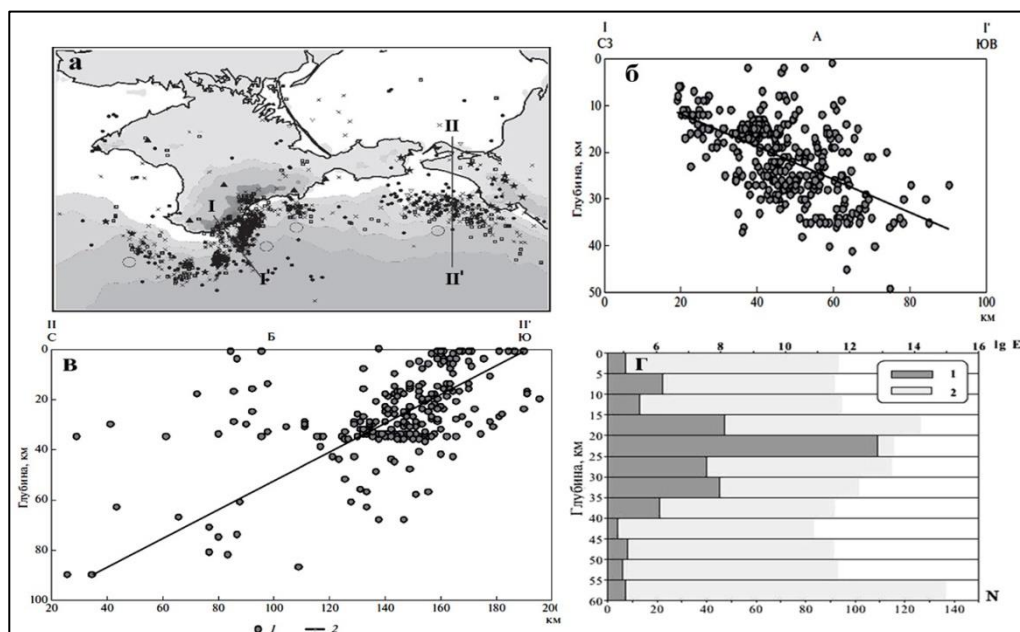


Рис. 2. Распределение с глубиной очагов землетрясений

а – схема эпицентров; *б* – сечение I-I', *в* – сечение II-II' (1 – очаги землетрясений; 2 – линия тренда) (по [10]); *г* – распределение по глубине количества землетрясений *N* (1) и суммарной выделенной сейсмической энергии *E* (2) (по [6])

Большая часть землетрясений Крымско-Черноморского региона является коровыми и локализована в интервале глубин 15÷35 км (рис. 2г). Представленное в некоторых работах последних лет наличие столбообразных скоплений глубокофокусных (до 300 км) землетрясений в регионе [1] научно не обосновано и является следствием применения некорректной методики определения глубины очага при обработке экспериментального материала [5]. В пределах Южнобережной зоны в сечении,

перпендикулярном берегу Крыма, отмечается общая тенденция увеличения глубин очагов не на северо-запад (что могло бы указывать на погружение Восточно-Черноморской плиты под Горный Крым), а на юго-восток, где глубина очагов достигает 40÷50 км (рис. 2б). В то же время, особенности глубинного распределения гипоцентров землетрясений на восточном фланге территории, примыкающем к Кавказскому побережью, имеют обратный характер: здесь происходит общее погружение очагов с юго-запада на северо-восток – под сооружения Большого Кавказа и сопредельные геоструктуры (рис. 2в). Учительная сказанное, вряд ли можно считать корректным утверждение о том, что «Главный Кавказский надвиг, который контролирует южную границу орогена Большого Кавказа в России и Грузии, прослеживается в западном направлении вдоль северной границы Черного моря, включая южную часть Крымского полуострова» [10, стр. 68]. Разноориентированные, падающие в разных направлениях сейсмогенные зоны, по определению, не могут быть подобно пропеллеру (да к тому же – и с изломом) объединены в одну структуру, маркирующую крупный региональный надвиг или подвиг вдоль всего Крымско-Кавказского побережья. Таковым является лишь Кавказский сегмент, где погружение подвига под континент (в районе Таманского полуострова, Анапы и далее на юго-восток) трассируется очагами с глубинами до 90 км и более, что вполне согласуется с покровно-надвиговой структурой Большого Кавказа.

В-третьих, пространственное распределение землетрясений различных структурно-кинематических типов, идентифицированных по результатам решений механизмов очагов Крымско-Черноморского региона, указывает, с одной стороны, на проявление в регионе разнообразных, зачастую противоположных (инверсионных) обстановок сейсмогенеза, с другой стороны, – на отсутствие приуроченности однотипных механизмов очагов к конкретным геоструктурам [3, 4].

Перечисленных факторов вполне достаточно, чтобы поставить под сомнение факт доминирования в структурообразовании региона процессов подвига или квазисубдукции Восточно-Черноморской плиты под Горный Крым. Это же подтверждается и данными по механизмам очагов землетрясений, локализованных как в пределах всего Крымско-Черноморского региона, так и в самой Южнобережной зоне. Результаты структурно-кинематического анализа полученных решений показали, что исследуемая геосистема является весьма динамичной, подверженной воздействию меняющихся полей напряжений, обусловивших наличие широкого спектра кинематических обстановок и деформационных режимов сейсмогенеза. При этом сколько-нибудь значимые признаки подвига Восточно-Черноморской плиты в северо-западном направлении практически отсутствуют.

Фактологическую основу структурно-кинематического анализа сейсмогенеза Крымско-Черноморского региона составили решения механизмов очагов, приведенные в [4] и дополненные результатами решений, полученных в процессе выполнения данной работы. Всего для региона в настоящее время имеется 44 решения (табл. 1), в том числе в пределах Южнобережной зоны Крыма идентифицировано 17 очагов (в табл. 1 – серая заливка). Концептуальную и методологическую основу проведенного анализа, учитывая относительную малочисленность региональной выборки, составили закономерности проявления сейсмогенерирующих полей напряжений, установленные при изучении близлежащих сегментов Средиземноморского пояса – Загроса, Вранча, Кавказа и прилегающих территорий. На статистически представительном материале этих регионов был апробирован алгоритм методики, включающий унификацию систем напряжений в очагах, характеризующихся сходными деформационными режимами и кинематическими обстановками, и последующее построение стереографических моделей основных типов сейсмогенеза. Для дифференциации очагов по типам деформационных режимов применялась классификация, основанная на принятых в тектонофизике параметрах – углах наклона к горизонту γ^1 , γ^2 и γ^3 главных осей нормальных напряжений P , T и N , соответственно. Сравнительный анализ стереографических моделей разных типов сейсмогенеза для вышеназванных сегментов Средиземноморского пояса показал, что

изучаемые геодинамические системы находится в состоянии неустойчивого равновесия, подвергаясь влиянию напряжений сжатия и растяжения, периодически действующих в разных направлениях. Также был установлен избирательный характер ориентировок главных осей сейсмогенерирующих полей напряжений по отношению к оси вращения Земли [2, 3, 13]. В итоге, несмотря на пространственную разобщенность и различную геодинамическую позицию исследуемых территорий, были получены идентичные модели однотипных деформационных режимов, обусловленных разными кинематическими обстановками, что предполагает возможность типизации проявлений сейсмогенеза также в пределах иных регионов Средиземноморского пояса [13].

Таблица 1

Параметры механизмов очагов землетрясений Крымско-Черноморского региона

№ п/п	Дата	Координаты очага			M_w	Нодальные плоскости		Оси главных напряжений			Деф. режим
		$\varphi^{\circ}N$	$\lambda^{\circ}E$	$H, км$		$NP1/DP$	$NP2/DP$	P/PL	N/PL	T/PL	
1	11.09.1927	44.3	34.3	15	6.9	111/69	334/28	263/62	28/17	125/22	Сб
2	12.07.1966	44.7	37.3	55	5.8	165/43	308/53	325/05	233/19	69/70	В
3	22.07.1972	44.8	37.2	19	4.5	102/62	4/74	325/08	68/57	230/32	В-сд
4	06.08.1972	44.6	32.7	15	4.7	318/72	221/69	90/28	265/62	359/02	Сд
5	20.02.1973	45.03	36.52	25	4.5	324/19	210/82	50/50	298/18	195/35	В-сб
6*	1955-1975	44.2	34.2	15	2.5	75/15	301/80	134/54	29/11	292/34	В-сб
7*	1955-1975	44.5	34.3	5	2.5	153/20	290/75	301/29	204/13	92/58	В
8*	1955-1975	44.7	34.8	20	2.5	75/15	301/80	134/54	29/11	292/34	В-сб
9	17.04.1975	43.83	32.44	46	4.2	330/18	146/72	147/27	57/01	325/63	В
10	03.09.1978	44.4	38.0	20	5.8	222/70	87/27	236/23	139/18	14/60	В
11	13.11.1981	45.27	29.01	11	5.1	118/81	210/82	254/01	159/78	344/12	Сд
12	05.07.1984	44.49	34.46	18	4.3	154/71	262/49	122/13	225/43	19/44	В-сд
13	03.03.1986	43.52	31.69	18	4.3	166/80	58/29	188/30	81/26	318/48	В
14	02.04.1988	44.98	32.01	13	4.2	170/58	32/40	188/10	94/22	301/66	В
15	02.07.1990	44.78	34.53	14	4.3	183/59	311/44	160/08	254/28	55/61	В
16	16.08.1990	44.7	35.06	28	4.9	234/65	22/29	81/67	317/14	223/18	Сб
17	25.07.1991	43.12	31.3	11	4.0	181/11	29/80	215/55	118/05	24/35	В-сб
18	27.08.1992	44.72	37.44	24	4.6	225/35	355/66	14/17	277/23	136/61	В
19	29.03.1992	45.3	31.0	33	4.3	212/87	353/04	35/48	302/02	210/42	В-сб
20	22.11.1996	44.51	34.16	10	3.2	97/79	195/54	61/16	173/52	320/34	В-сд
21	09.06.1997	43.31	35.85	22	4.6	206/50	356/44	192/03	283/15	91/74	В
22	18.10.1998	44.05	33.68	22	4.9	329/81	73/33	304/29	53/32	181/45	В-сд
23	02.06.1999	44.59	34.48	19	4.0	161/65	272/54	129/07	225/43	32/46	В-сд
24	08.08.1999	44.71	37.71	37	3.8	182/57	348/34	27/77	268/07	176/12	Сб
25	04.03.2001	43.06	35.37	20	4.7	273/39	60/56	71/09	342/17	192/71	В
26	09.11.2002	44.82	37.7	29	5.6	330/50	82/66	113/10	14/41	213/48	В-сд
27	13.03.2005	44.72	37.14	6	4.4	134/41	8/59	240/59	78/29	344/08	Сб
28	07.02.2006	44.46	34.33	13	3.4	10/72	217/20	176/62	283/09	17/27	Сб
29	05.10.2007	44.56	37.08	18	4.3	215/55	11/38	205/09	297/12	78/75	В
30	07.05.2008	45.34	30.95	11	4.8	171/45	353/45	352/00	82/01	262/89	В
31	04.07.2008	45.31	31.01	30	3.7	274/46	73/46	264/00	354/10	174/80	В
32	12.04.2009	44.16	34.23	20	4.3	276/45	70/48	82/02	352/13	181/76	В
33	17.03.2011	43.39	36.13	31	4.1	209/28	16/63	20/18	289/05	183/71	В
34	09.09.2011	44.39	34.34	20	3.5	215/63	20/28	51/71	302/06	210/18	Сб
35	30.01.2012	44.66	36.83	17	3.6	17/47	133/65	161/10	63/30	265/52	В
36	10.12.2012	44.83	37.54	24	4.3	27/76	132/45	247/43	104/40	356/19	Сб-сд
37	01.05.2013	44.64	36.6	11	3.8	130/58	263/43	3/64	203/25	109/08	Сб
38	15.10.2013	44.53	34.35	7	3.7	121/55	271/38	108/09	200/15	350/72	В
39	09.12.2013	44.49	34.34	17	3.5	122/56	270/39	108/09	201/16	350/72	В
40	02.03.2014	44.30	34.33	28	4.2	134/57	274/41	5/68	210/21	117/06	Сб
41	18.10.2014	42.74	35.11	16	3.8	32/77	296/64	72/09	326/60	167/28	Сд
42	13.05.2016	44.63	34.41	13	3.5	242/83	334/68	200/10	315/67	106/20	Сд
43	28.06.2016	42.46	31.59	35	4.1	155/54	338/36	156/09	66/02	325/81	В
44	22.07.2016	42.35	34.95	25	4.2	356/48	212/48	14/00	284/19	104/71	В

Примечания к таблице 1:

1) типы деформационных режимов: Сб – сбросовый, В – взбросовый, Сд – сдвиговый, В-сд – взбросо-сдвиговый, В-сб – взбросо-сбросовый; 2) параметры нодальных плоскостей и осей главных напряжений приведены по азимуту падения/углу падения; 3) звездочками (*) обозначены композитные механизмы, полученные путем усреднения значений параметров локальных групп очагов, 4) серая заливка – решения механизмов очагов землетрясений, локализованных непосредственно в пределах Южнобережной зоны Крыма.

Апробированная методология построения моделей сейсмогенеза с использованием статистически представительных массивов данных имеет существенные ограничения для применения в Крымско-Черноморском регионе, поскольку региональная выборка не является репрезентативной. Тем не менее, имеющиеся материалы позволили построить подобие стереографических моделей сейсмогенеза, которые, ввиду их статистической необеспеченности, можно обозначить как «субмодели» или «квазимодели», полагая, что они в значительной мере отражают особенности проявления сейсмогенерирующих полей напряжений [4]. Основные квазимодели сейсмогенеза Крымско-Черноморского региона, построенные по данным решений 35 очагов (по состоянию изученности на 01.08.2018 г.), приведены на рис. 3.

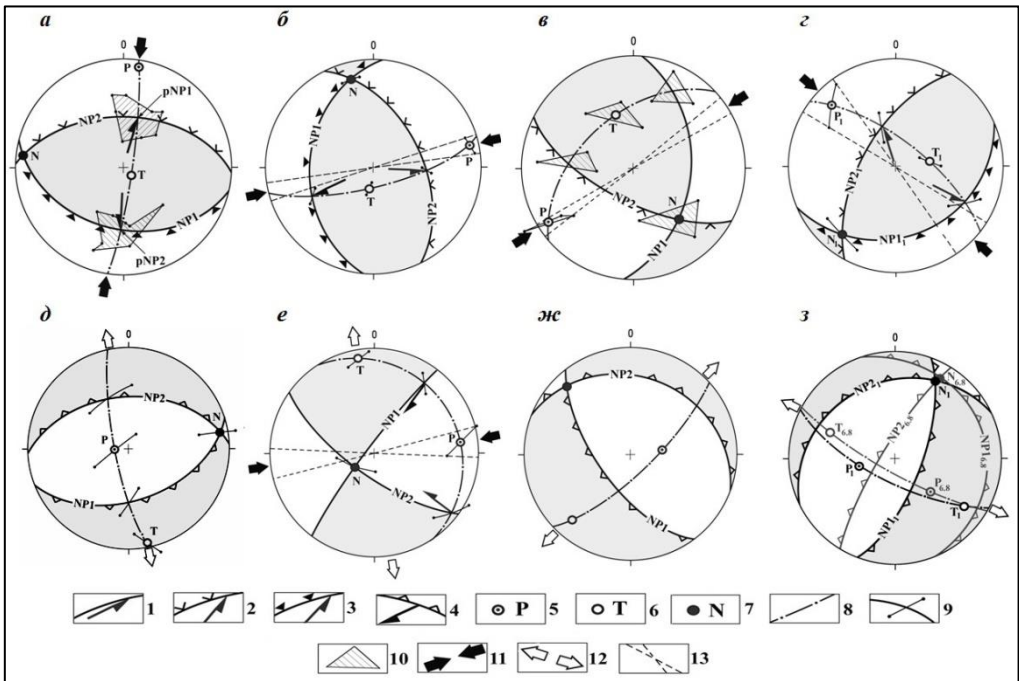


Рис. 3. Квазимодели сейсмогенеза Крымско-Черноморского региона для обстановок сжатия (а-д) и растяжения (е-з)

Условные обозначения: 1-4 – проекции нодальных плоскостей и их структурно-кинематическая характеристика – сдвиги, взбросо- и сбросо-сдвиги (1), взбросы, сдвиго-взбросы (2), надвиги (3), сбросы, сдвиго-сбросы (4), бергштрихи со стороны падения плоскости, стрелки – направления перемещения лежачего крыла; 5-7 – проекции осей главных напряжений (5 – сжатия, 6 – растяжения, 7 – промежуточной); 8 – проекции плоскостей размещения осей главных напряжений; 9-10 – разброс значений одноименных параметров решений механизмов очагов в квазимоделях для двух (9) и более (10) аппроксимируемых событий; 11-12 – направления действия регионального сжатия (11) и растяжения (12); 13 – границы секторов сжатия и растяжения (по [3,4]).

За последний год в рамках выполнения данного исследования получены решения механизмов очагов еще для 11 землетрясений, 5 из которых локализовано непосредственно в пределах Южнобережной зоны Крыма. Значения параметров большинства из них (особенно сформированных под воздействием нетрансформированных полей напряжений) в значительной мере соответствуют ранее построенным квазиמודелям. Это обстоятельство указывает на корректность применяемого методического подхода, воспроизводимость результатов и, в конечном итоге, подтверждает наличие закономерностей в распределении ориентировок главных осей сейсмогенерирующих полей напряжений.

Прежде всего, следует отметить количественные соотношения механизмов очагов разных типов в пределах Южнобережной зоны, характеризующих различные обстановки сейсмогенеза, и результаты структурно-кинематической идентификации предполагаемых сейсмогенных разрывов, аппроксимируемых нодальными плоскостями этих механизмов. Во-первых, в приведенном массиве данных не прослеживается влияние какого-либо одного доминирующего геодинамического фактора, формирующего сеймотектонический «климат» исследуемой территории, поскольку обстановки регионального сжатия и растяжения проявляются практически в равной степени (табл. 2). Во-вторых, вопреки распространенному мнению о ведущей структурообразующей роли напряжений юго-восточного или субмеридионального сжатия, способных обусловить формирование поддвиговых структур с падением в северном или северо-западном направлениях, в пределах зоны практически отсутствуют очаги, в которых структурно-кинематическая характеристика хотя бы одной из нодальных плоскостей отвечала бы указанным параметрам.

Более детальный анализ особенностей сейсмогенеза в пределах Южнобережной зоны предполагает оценку распределения механизмов очагов по типам деформационных режимов и по ориентировкам главных осей структурообразующих полей напряжений, которые соответствуют обстановкам регионального сжатия и растяжения (табл. 2).

Таблица 2

Количественное распределение очагов землетрясений Южнобережной зоны Крыма по деформационным режимам и кинематическим обстановкам (в скобках – предельные значения M_w для очагов данного типа)

Деформационные режимы	Кинематические обстановки сжатия				Количество очагов
	Субмеридионального	ЮЗ-СВ	Субширотного	ЮВ-СЗ	
Взбросовый	1 (4.3)	—	3 (4.3)	1 (2.5)	5
Взбросо-сдвиговый	—	1 (3.2)	—	3 (4.9)	4
Сдвиговый	1 (3.5)	—	—	—	1
<i>Кинематические обстановки растяжения</i>					
Сбросовый	1 (3.4)	2 (4.9)	—	2 (6.9)	5
Взбросо-сбросовый	—	—	—	2 (2.5)	2

Примечания к таблице 2: в очагах взбросо-сбросового типа речь идет не о характеристике разрыва (поскольку «взбросо-сбросов» в природе не существует), а о типе деформационного режима, при котором углы наклона осей напряжений P , N и T составляют: $\gamma^1 > 30^\circ$, $\gamma^2 < 30^\circ$ и $\gamma^3 > 30^\circ$. Нодальные плоскости в очагах, формирующихся в условиях взбросо-сбросовых режимов, являются взбросами и надвигами (при углах наклона оси P в интервале $30-45^\circ$, обстановки сжатия) или сбросами (при углах наклона оси T в этом же интервале, обстановки растяжения).

В условиях регионального сжатия сформировано 10 очагов, 5 из которых характеризуются взбросовым деформационным режимом, 4 – взбросо-сбросовым, 1 –

сдвиговым (рис. 4а, табл. 2). При этом обстановки субмеридионального сжатия представлены только двумя событиями – взбросового (02.02.1990 г., №15 в табл. 1¹) и сдвигового (13.05.2016 г., №42) типов, хотя в пределах всего Крымско-Черноморского региона данная обстановка, аппроксимируемая взбросовой квазимodelью (на рис 3а), является доминирующей [4]. Очагов сдвигового типа, аналогичных №42, в регионе не установлено; однако были получены решения сдвиговых механизмов, сформированных в инверсионном поле напряжений – субмеридионального растяжения, которые по своим параметрам являются полным антиподом очага №42 (квазимodelь на рис 3е).

Из остальных землетрясений взбросового типа три (№№32, 38, 39) обусловлено напряжениями субширотного и одно (№7) – юго-восточного–северо-западного сжатия (рис 4). Первые из них могут быть аппроксимированы региональной квазимodelью, приведенной на рис 3б, в которой обе нодальные плоскости представляют собой взброс и надвиг субмеридионального простирания. Во втором случае (рис 3з) одна из нодальных плоскостей идентифицируется как надвиг (простирание которого отвечает положению континентального склона), но имеющий падение на юго-восток. По энергетическому уровню ($M_w=2.5$) данное землетрясение более чем на порядок уступает всем остальным очагам взбросового типа ($M_w=3.5-4.3$), сформировавшимся в обстановке регионального сжатия.

Наиболее интенсивные землетрясения ($M_w=4.0-4.9$) из числа сформировавшихся в условиях сжимающих напряжений относятся к взбросо-сдвиговому типу (№№12, 22, 23) юго-восточного сжатия. Решения механизмов очагов двух из них (№№12, 23) практически идентичны. Они расположены на одной долготе ($\lambda=34.46^\circ\text{E}$ и 34.48°E), к которой приурочен и меридиональный сигмоидальный изгиб континентального склона. Это позволяет полагать, что положению реального сейсмогенного разрыва отвечают нодальные плоскости субмеридионального простирания ($NP2$ с близкими азимутами и углами падения, равными $262/49^\circ$ и $272/54^\circ$). Следует добавить, что пространственные и, отчасти, структурно-кинематические параметры этих плоскостей практически совпадают с таковыми для меридионально ориентированных нодальных плоскостей в решениях механизмов взбросового типа, сформировавшихся в обстановках субширотного сжатия ($276/45^\circ$, $271/38^\circ$ и $270/39^\circ$ для №№32, 38, 39 соответственно). Таким образом, весьма вероятно, что во всех очагах, возникновение которых обусловлено этими обстановками, сейсмогенными разрывами являются субмеридиональные сбросо-сдвиги и сдвиго-взбросы с западным падением.

В условиях регионального растяжения земной коры (рис. 4б) сформировались землетрясения, которые характеризуются наиболее высокими значениями предельных магнитуд. Одно из них – Ялтинское землетрясение 11.09.1927 г. – является самым сильным на территории Крыма за последние сто лет (№1 с $M_w=6.9$). Это и близкое к нему по параметрам механизма очага событие 02.03.2014 г. (№40 с относительно высокой магнитудой $M_w=4.2$) могут быть аппроксимированы одной квазимodelью (на рис. 3з показано черным цветом), характеризующей обстановки растяжения в юго-восточном направлении. Вероятнее всего, положение сейсмогенного разрыва в этих очагах соответствует нодальным плоскостям, имеющим падение в юго-восточном направлении (соответственно $111/69^\circ$ и $134/57^\circ$). Надо полагать, что возникновение этих землетрясений отражает процесс периодического интенсивного прогибания основания Черноморской впадины на фоне воздымающегося сооружения Горного Крыма, что нашло свое отражение на некоторых картах новейших и современных вертикальных тектонических движений.

Возникновение двух событий сбросового типа, одно из которых характеризуется довольно высокой магнитудой (№16 с $M_w=4.9$), обусловлено обстановками юго-западного растяжения, что соответствует квазимodelи, приведенной на рисунке 3ж.

¹Чтобы не перегружать изложенное, далее при ссылке на то или иное землетрясение, в тексте приведен только его порядковый номер по табл.1 без указания даты события и его остальных параметров (если таковые не являются предметом специального рассмотрения).

Ориентировки нодальных плоскостей в решениях их механизма очага согласуются с северо-западным простиранием основной системы тектонических разломов Горного Крыма, которые периодически активизируются то по типу левых сдвигов, то, как сбросовые.

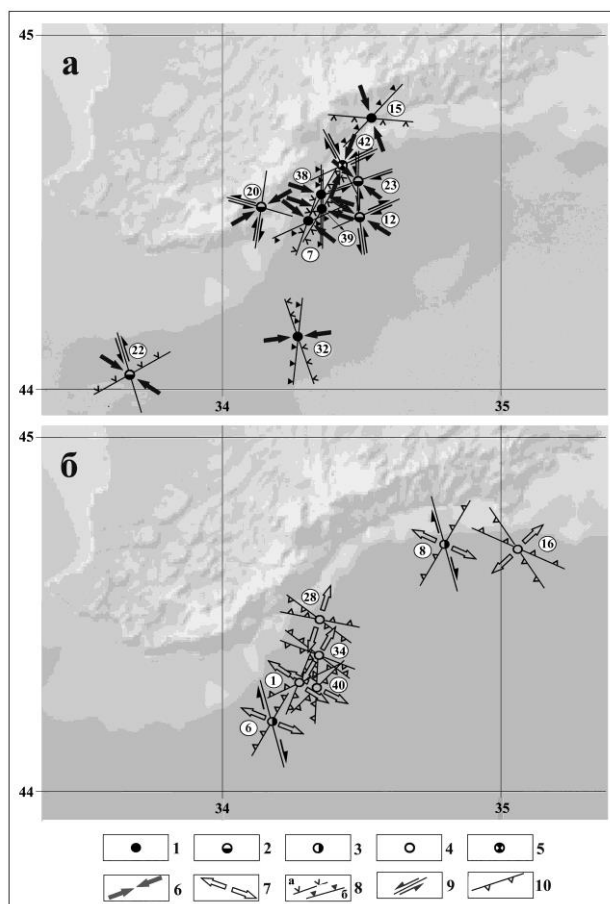


Рис. 4. Гетерогенный характер сейсмогенеза Южнобережной зоны Крыма, обусловленный обстановками разнонаправленного сжатия (а) и растяжения (б)

Условные обозначения: 1-5 – эпицентры очагов взбросового (1), взбросо-сдвигового (2), сдвигового (3), сбросового (4) и взбросо-сбросового (5) типов и их номера в таблице 5.1 (цифры в кружках); 6-7 – направления сжатия (6) и растяжения (7) в очаге; 8-11 – проекции нодальных плоскостей на горизонтальную поверхность и их структурно-кинематические характеристика (8а – взбросы, 8б – надвиги, 9 – сдвиги и направления перемещения вдоль них, 10 – сбросы); бергштрихи – со стороны висячего крыла разрыва

Таким образом, многообразие кинематических обстановок, реконструированных в очагах Южнобережной сейсмогенной зоны, указывает на ее гетерогенный характер и сложное внутреннее строение, что не позволяет обосновать принадлежность этой зоны или отдельных ее фрагментов к какому-либо одному типу сейсмогенеза. В ее пределах проявлялись обстановки как разнонаправленного сжатия, так и ориентированного в разных направлениях растяжения; при этом очаги Южнобережной сейсмогенной зоны формировались в широком диапазоне деформационных режимов.

Учитывая структурно-кинематические характеристики и параметры нодальных плоскостей, рассматриваемых в качестве возможных сейсмогенных разрывов, а также

характер обусловивших их полей напряжений, представляется маловероятным, чтобы доминирующим геодинамическим фактором, определяющим особенности строения Крыма и прилегающих территорий, являлись современные процессы поддвига, субдукции или квазисубдукции Восточно-Черноморской плиты под Крымский полуостров. Для полноты картины и сохранения объективности геодинамического истолкования результатов анализа сейсмогенного разрывообразования отметим, что в очаге №15 (рис. 4а) одна из нодальных плоскостей, идентифицируемая как левый сдвиг-надвиг (надвиг с существенной сдвиговой составляющей), имеет северо-восточное простирание с падением на северо-запад ($NP2=311/44^\circ$). Таким образом, ее пространственно-кинематическая характеристика вполне согласуется с представлениями о наличии современного поддвига Черноморской плиты под сооружения Горного Крыма. Но даже если предположить, что в данном очаге в качестве сейсмогенного разрыва активизировалась именно эта нодальная плоскость, приведенный пример является единственным из всей выборки и отражает всего лишь многообразие проявлений процесса сейсмогенного разрывообразования, а не геодинамическую ситуацию в целом.

Литература

1. Бурмин В.Ю., Шумлянская Л.А. Современная сейсмичность Крыма // Вопросы инженерной сейсмологии. 2015. Т. 42, № 2. С. 5-16.
2. Вольфман Ю.М. Структурно-кинематическая идентификация сейсмогенных зон системы Загроса (по данным решений механизмов очагов землетрясений) // Геофизический журнал. 2013. Т. 35, №2. С. 38-64.
3. Вольфман Ю.М., Пустовитенко Б.Г., Колесникова Е.Я. Обстановки сейсмогенеза и их трансформации в пределах Крымско-Черноморского региона и прилегающих территорий // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том VIII / Под ред. И.А.Керимова, В.Б. Заалишвили, В.И. Черкашина. М.: ИИЕТ РАН, 2018. С. 245-252.
4. Вольфман Ю.М., Пустовитенко Б.Г., Колесникова Е.Я. Обстановки сейсмогенеза Крымско-Черноморского региона (по данным решений механизмов очагов землетрясений) // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. Т.4 (70). №4. Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского. Симферополь, 2018. С. 206-250.
5. Кульчицкий В.Е., Пустовитенко Б.Г., Свидлова В.А. О глубинах очагов землетрясений Крымско-Черноморского региона // Вопросы инженерной сейсмологии. 2017. Т. 44, №3. С. 21-46.
6. Мониторинг сейсмических процессов в Крымско-Черноморском регионе / Б.Г. Пустовитенко, А.В. Луцкич, О.В. Боборыкина и др. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ Гидрофизика», 2014. 264 с.
7. Пустовитенко Б.Г. Блочно-иерархическая структура сейсмичности Черноморского региона // Труды Международной конференции «Мониторинг опасных геологических процессов». Киев, 2003. С. 27-28.
8. Пустовитенко Б.Г. Сейсмические процессы в Черноморском регионе и сейсмическая опасность Крыма: дис. ... докт. физ.-мат. наук: 04.00.22. Киев: Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, 2003. 387 с.
9. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е. Сейсмичность Черноморской впадины // Геофизический журнал. 1991. Т.13, № 1. С. 14-19.
10. Современные коллизионные процессы на северной окраине Черного моря / В.С. Гобаренко, А.В. Муровская, Т.П. Егорова, Е.Е. Шеремет // Геотектоника. 2016. №4. С. 68-87.
11. Юдин В.В. Геодинамика Черноморско-Каспийского региона. Киев: Укр. гос. геол.-развед. ин-т (УкрГГРИ), 2008. 117 с.
12. Юдин В.В., Юровский Ю.Г. Неогеодинамика Крымско-Черноморского региона // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. Симферополь, Нац. академия природоохранного и курортного строительства, 2011. С. 50-56.
13. Volfman Yu.M., Kolesnikova E.Ya., Pustovitenko B.G., Milyukov V.K. Selective Manifestation of Seismogenic Stress Field within the Mediterranean Belt (Based on Earthquake Focal Mechanism Solutions) // Journal of Volcanology and Seismology, 2017. Vol. 11, no. 6, pp. 447-461.