

УДК 550.334.42(262.5)

## ЦУНАМИ НА БЕРЕГАХ ЧЕРНОГО И АЗОВСКОГО МОРЕЙ

© 1997 г. А. А. Никонов

Институт сейсмологии ОИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва

Поступила в редакцию 23.01.95 г.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ И СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ

В отличие от Средиземного моря, где сведения о цунами за длительный исторический период специально собирались и обрабатывались [1–8], Черное море в отношении бывших здесь цунами и возможной цунамиопасности изучено значительно хуже, а Азовское вообще не рассматривалось. Большинство исследований по цунами в Черном море посвящено цунами XX в., когда сколько-нибудь значительные волны не возникали [9–16]. Это привело к распространенному представлению о практически незначительной опасности цунами в бассейне. Лишь отдельные публикации [16–20] приводят сведения о древних цунами, рассматривают общие вопросы цунамиопасности черноморских берегов и оценивают ее более серьезно.

Ясно, что оценки цунамиопасности будут тем более совершенны, чем более полный исходный фактический материал будет положен в их основу. Достичь этого в настоящее время можно только привлекая исторические сведения за возможно более продолжительный период, даже отдавая себе отчет во фрагментарности и неадекватности исторических сведений. Именно этим путем пошел автор, поставив задачу прежде всего собрать и обобщить все доступные сведения за период около двух тысяч лет, как бы ни показались используемые источники нетрадиционными и недостаточными для надежных выводов.

Составление более полного каталога цунами в Черном и Азовском морях стало первой задачей.

В настоящей работе вслед за В. Ван Дорном [21] и Т. Мурти [22] к цунами относятся морские волны в результате крупных непродолжительных возмущений земной поверхности, обусловленные в основном резкими нарушениями рельефа морского дна, прежде всего над очагами землетрясений. Но приведены факты возмущений морской поверхности и за счет удаленных сотрясений на суше, а также неясного происхождения. Одноразовые волны за счет метеорологических факторов, которые некоторые авторы также причисляют к цунами [23], нами не рассматривались.

Собранный материал за период с начала нашей эры сведен в таблице, которая содержит пер-

вичные сведения и их квантификацию для 22 событий, между тем как обычно в рассмотрение вовлекалось по несколько событий [12, 15, 16, 19].

Целый ряд указаний в литературе на возможные цунами в таблицу не вошел, поскольку они оказались не обеспеченными сколько-нибудь определенными исходными данными. Так, указания в [10] на цунами при землетрясениях в Крыму в 480 г. н. э., 08.01.1902, 03.04.1908, 26.12.1919 гг. и на Кавказском берегу 21.10.1905 г. – это не более чем предположения. При самом тщательном поиске в первоисточниках они не находят подтверждения. Малодостоверными признаны глухие или косвенные сведения о цунами в Колхиде в 479 г. до н. э. [3]. Целый ряд указаний на цунами при землетрясениях в средние века (15.08.555, 26.10.740, в 815 г.) или ненадежны, или не относятся к Черному морю и поэтому также остались за пределами таблицы.

Но и в представленном виде наши знания о цунами в Черном, и тем более в Азовском морях, по-видимому, остаются неполными даже для рассматриваемого промежутка времени, особенно в его ранней части. Конечно, за две тысячи лет происходили, помимо выявленных, и другие цунами на берегах, долгое время остававшихся далекой периферией цивилизованного мира. Эти события, в том числе возможно и крупные, или не попали в письменные и устные источники, или первые до нас не дошли. Трудно, например, предположить, что весьма сильные землетрясения у берегов Колхиды в VII, XI, XVIII вв. [24], многие сильные землетрясения на Северо-Западном Кавказе и в Крыму, а также у черноморских берегов Анатолии и Фракии не сопровождалась значительными, вероятно и разрушительными, цунами, как это известно для землетрясения 543 г. около г. Варна.

### ПРИМЕРЫ РАССМОТРЕНИЯ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Обнаруженные сведения о цунами (таблица) на протяжении письменной истории, естественно, распределены неравномерно, с нарастанием по мере приближения к нашему времени (рис. 1). Как и в других подобных случаях, это отражает

Данные по цунами Черного и Азовского морей

№ п/п	Год, дата цунами, землетрясения	участок побережья, где отмечено цунами	Сведения о цунами							Сведения о землетрясениях					Источник сведений
			характеристика цунами	макс. наблюдаемый подъем воды (м) на берегу, где отмечено цунами	интенсивность в пункте по шкале Зибера-Амбрэйса	надежность по шкале С.Л. Соловьёва	причина цунами	удаление пункта наблюдения от эпицентра (км)	координаты $\varphi^{\circ}N, \lambda^{\circ}E$	$h$ (км)	$I_{\max}$ на берегу, где отмечено цунами	$I_0$	$M$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	(20 г. н. э.) ± 20	Берег Колхиды, Сухумская бухта	Затопление г. Диоскурии, возможно, за счет оседания части побережья при землетрясении	(≥2.5)	IV-V	4П	3, ОД	≤10	(43.0; 41.0)	(20)	(9) ± 0.5		(≥6.5)	24, 25	
2	II в. н. э. (103)	Крым, Севастопольская бухта	Отход и последующее возвращение моря на расстояние ±0.5 км	(≥2.0)	III	3В	(3)	(≤20)	44.7; 33.3 ± 0.5		(≥8)	(9)	(7)	26, 27	
3	543 ± 1 г.	Западный берег, около г. Варны	Море набежало на 5-6 км и залило берег около Варны и Балчика, большие разрушения и жертвы	(≥2-4)	V	5Д	3	≤20	43.2; 28.3 ± 0.3	20 ± 10		9	7.5 ± 0.5	28, 29, 30	
4	557, 15(16).08 возможно, 555 г.	Берег Болгарии, южнее г. Бургас, Босфор	Море залило берег вглубь на 4.5 км	(≥2.0)	(III)	2С 3В	3		41.0; 29.5		(9)	(10-11)	(7.5)	30, 31	
5	1341 (1343)	Западное побережье Крыма	Море вышло из берегов на 10 км (у Евпатории)	≥1.0	II-III	4П	3, КС	600	(41.5; 28.0) ± 0.5		≥4	(8-9)	(6.5 ± 0.5)	18, 32, 33, 34	
6	(1427) ± 10	Южный берег Крыма	Несколько деревень в р-не г. Ялты смыты высокими волнами	≥2.0	III	4П	3	≤30	(44.4; 34.3) ± 0.3	(20)	(8)	(9)	(7) ± 0.5	35, 36	
7	1615, 05.06	Юго-восточный берег Крыма	Колыхание, подъем уровня моря и отход к обычному ур. у г. Феодосии	≥0.5-1.0	II	5Д	3	20-30	44.9; 35.5 ± 0.5	15 ± 0.5	7-8	8 ± 0.5	6.0 ± 0.5	37, 38	
8	1650	Азовское море, западные берега Черного моря	Море разлилось и соединилось с Сивашом, затем вода отступила у Геническа и Арабата	(≥0.5-1.0)	III	4П	(3, КС)	200	(44.7; 33.3) ± 0.5	(20)	(≈4-5)	9 ± 0.5	7.0 ± 0.5	27, 39	
		Черное море	В Севастопольском заливе геологические следы цунами	(≥2.5)	(IV-V)	3В		(≤30)						40	

Таблица. Продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
9	1802 26.10	Западный берег Крыма	Крупные волны у берега близ Евпатории при штиле	( $\geq 0.5$ )	II	4П	КС	350	(45.7; 26.6) $\pm 0.5$	(150)	5	9-10	$7.5 \pm 0.5$	41, 42
10	1821, 17.11	Северо-западное побережье у г. Одессы	Море поднялось выше обычного уровня у г. Одессы	( $\geq 0.1$ )	II	5Д	КС	330	(45.7; 26.6) $\pm 0.5$	(150)	( $\approx 4-5$ )	(7-8) $\pm 1$	$6.7 \pm 0.7$	42, 43, 44, 45
11	1838, 23.01	Северо-западное побережье	Сильное волнение моря, от ко- торого пострадало много судов в гавани Одессы	( $\geq 0.5$ )	II	5Д	КС	330	(45.7; 26.6) $\pm 0.5$	(150)	(6)	9	$6.9 \pm 0.5$	42, 46
12	1869, 11.11	Юго-восточные и западные берега Крыма	В Судаке сильное отступление моря на 2 м по горизонтали и че- рез 10 мин медленное возвра- щение к обычному ур. В Евпато- рии сильная приливная волна до 1 м выс.	$\approx 0.5-1.0$  $\approx 1.0$	II-III	5Д	З	20  140	44.7; 35.0	$25 \pm 5$	7  (4-5)	$7.5 \pm 0.5$	$6.0 \pm 0.2$	44, 45, 47
13	1875, 25.07	Западное побере- жье Крыма	Вода всколыхнулась и будто за- пенилась	( $\geq 0.1$ )	I-III	4П	З	10-30	44.5; 33.3	6-12	7	$8 \pm 0.5$	$5.5 \pm 0.5$	48
14	1905, 4.10	Северо-восточный берег у г. Анапы	Волны вблизи Анапы подброси- ли пароход	( $\geq 0.5$ )	II	5Д	З, КС	$\leq 20$	44.7; 37.4 $\pm 0.2$	15	6-7	$6-7 \pm 1$	$5.1 \pm 0.7$	42, 49, 50
15	1909, 08.04	У северо-восточно- го берега близ м. Идокопас	Три волны в море у мыса Идо- копас	4-5	(III)	4П	(ПО)	( $\leq 20$ )						51
16	1927, 26.08	Южный берег Крыма, северо-вос- точный берег моря	Гурзуф - море отхлынуло на 1.5 м, затем снова набежало на берег Ялта - уровень опустился на 0.18 м, затем поднялся на 0.156 м Севастополь - волна подъема Феодосия - слабая волна Алупка - море отступило, затем хлынуло на берег и затопило пляж Алушта - волна Туапсе - волна набежала на берег Судак - мелкая зыбь на море Новороссийск Керчь	0.16  0.16-0.32  0.7 $< 0.2$  0.08 0.06	II	5Д	З	$\leq 30$	44.4; 34.4 $\pm 0.2$	25	7	$7 \pm 0.5$	$6.0 \pm 0.1$	5, 11, 51, 52, 53, 54

Таблица. Окончание

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
17	1927, 11.09	Южный берег Крыма	Балаклава – море отступило в бухте на 0.6–1.0 м, затем стремительно хлынуло на берег и затопило большое пространство (15 м), поднявшись на 0.5 м, 2 дома разрушено Севастополь – отлив до 0.5 м Ялта – сначала резкое понижение, затем колебание на 0.37 м Мариуполь Керчь Новороссийск Туапсе	0.5–1.0  (≥0.1) 0.37  0.18 0.12–0.13 ≤0.2 0.15	II	5Д	3	70   ≤30   380	44.3; 34.3 ±0.5	15	7	(9) ±0.1	6.8 ± 0.1	5, 11, 52, 54, 55, 56, 57, 59, 60, 61
18	1927, 16.09	Южный берег Крыма	Балаклава – вода отхлынула в бухте	(≥0.3)	II	4П	3	≤30	44.4; 34.3	20		5	4.9 ± 0.3	56
19	1939, 29.12	Южный и восточный берега	В Фатсе (восточнее Синопа) вода отошла от берега на 50 м, затем море наступило на берег почти на 20 м, затем вернулось к обычной отметке Новороссийск – подъем уровня Туапсе – подъем уровня В других пунктах сев. берега меньше	1.0  0.53 0.4	(IV)	5Д	КС	580–600	39.7; 39.7 ±0.2	18	8	11 ± 0.5	8 ± 0.3	13, 42, 62
20	1966, 12.07	Северо-восточный берег моря	Колебания уровня отмечены на мареограммах: Геленджик Туапсе Феодосия Ялта Батуми Мариуполь Опасное Керчь	0.21 0.05 0.03–0.04 0.02 0.01 0.03 0.05 0.03	I	5Д	3	≤30	44.7; 37.3 ±0.2	(55)	6–7	(7) ± 0.5	5.8 ± 0.5	10, 11
21	1970, 04.12	Вблизи г. Сочи	Сначала резкое повышение уровня (5ч 20 м), <i>мах</i> подъем на 34 см (6 ч 05 м) и <i>мах</i> опускание на 45 см (6 ч 10 м)	0.34	I–II	5Д	3	≤20	43.7; 39.5	(10)	7	7.5	5.1 ± 0.3	63
22	1990, 02.08	Азовское море, южный берег, между мысами Казантип и Зюк	Внезапное кратковременное повышение уровня моря	0.4	II	5Д	3	(≤10)						27

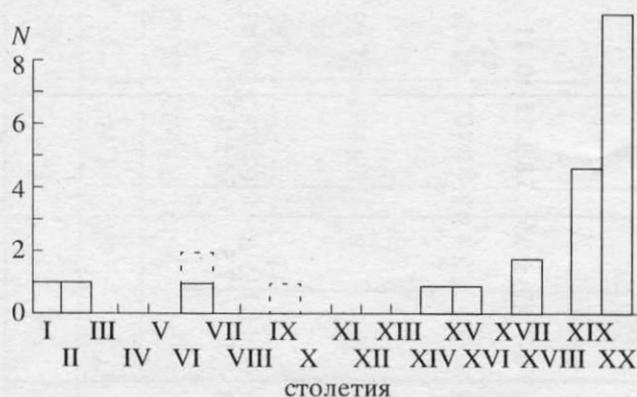


Рис. 1. Гистограмма распределения выявленных случаев цунами в Черном и Азовском морях с начала нашей эры.

только большее внимание к природным событиям и лучшую сохранность источников с течением времени. Столь же естественно, что более ранние сведения оказываются менее информативны и в ряде случаев недостаточно надежны. К ним, в первую очередь, надо отнести сведения, восходящие к античности и началу нашей эры. Рассмотрим некоторые примеры.

О затоплении древнего города Диоскурия на берегу Сухумской бухты в Колхиде можно судить, с одной стороны, по местной легенде, а с другой — по затопленным в бухте остаткам города [25]. Резкое опускание местности на 2–3 м связывается с разрушительным землетрясением ( $I \geq 9$ ) в первой половине I в. н. э. Хотя прямых признаков цунами здесь не установлено, оно очень вероятно, исходя из многих аналогий. В частности, ситуация здесь представляется весьма сходной с той, что имела место на Ямайке при разрушительных землетрясениях 1692 и 1909 гг., когда одновременно имели место и опускание побережья на несколько метров, и крупные цунами, в первом случае до 16 м высотой [22]. Подобное же явление, как известно, произошло при землетрясении 1862 г. и образовании залива Провал на Байкале [42], а также при землетрясении Кванто 1.09.1923 г. в Японии, где высота цунами в бухтах залива Сагами достигала 9–12 м, дно опустилось на сотни метров, а берег вблизи эпицентра поднялся на 1.5 м [64].

Более определенные сведения о цунами у Крымских берегов можно вывести из средневековых сведений о “чудесах” Св. Климента, Папы Римского, происходивших в нынешней Севастопольской бухте (Крым) в 103 г. н. э. [26]. По этим сведениям море у восточного окончания залива отступало (неоднократно), максимально на 3–4 км (?), что предполагает снижение уровня на несколько метров. Конкретность указаний и некоторые специфические признаки не оставляют места серьезным сомнениям в том, что речь идет о цунами, хотя

конкретные указания о местном землетрясении в дошедших до нас источниках отсутствуют. Вместе с тем именно для рубежа I и II вв. н. э. множество археологических данных по Юго-Западному Крыму свидетельствует о разрушении и прекращении существования многих населенных пунктов [65]. Сам этот факт и особенно некоторые конкретные признаки (характер разрушений и восстановления, сохранение утвари в домах и др.), с нашей точки зрения, указывают на сильное местное землетрясение.

Заметим также, что в Севастопольской и соседней Балаклавской бухтах при землетрясениях в XIX и XX вв. в Крыму цунами, хотя и небольшие, отмечались неоднократно [47, 48, 54–60]. Ныне и сильные исторические землетрясения вблизи Севастополя можно считать установленными [66], а при одном из них цунами, возможно, достигало 3 м высоты [40].

Наиболее надежно по историческим сведениям опустошительное цунами в Черном море определяется в 543 (544) г. на болгарском берегу. В этом году при очень сильном землетрясении “море вышло из своих пределов на три мили [6 км, А.Н.] во Фракии, уничтожило много сел и усадеб, погубило бесчисленно людей и затем ушло обратно” [29]. Судя по этому и другому описанию и учитывая топографию берега, можно считать, что высота цунами составила не менее 4 м, скорее значительно больше.

На северных берегах Черного моря основные сведения о цунами исходят из Крыма. В частности, весьма значительное цунами выводится по фольклорным данным в XV в. в связи с сильным (около 9 баллов) землетрясением у южных берегов Крыма [35, 36]. Поскольку сообщается о смыве волнами нескольких деревень, то и в этом случае мы вправе предположить высоту волн не менее 3–4 м.

В Азовском море до недавнего времени цунами вообще не отмечались. Это неудивительно, поскольку оно весьма мелководно (глубина до 11–13 м) и считалось практически асейсмической зоной. Однако, в свете ставших недавно известными фактов [27] такое представление, по-видимому, ошибочно. Сообщение о разлитии Азовского моря и его временном соединении с Сивашом на западном побережье [39] рассматривается нами в связи с сильным землетрясением у берегов юго-западного Крыма в середине XVII в. [66]. Свежий пример относится к 1990 г. [27]. Таким образом, и Азовское море надо считать акваторией, где возможно распространение цунами, в том числе значительных.

НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦУНАМИ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Что касается цунами XX столетия в Черном море, особенно на его северных берегах, то они могут считаться достаточно известными и изученными в основном благодаря работам З.К. Григораш [9–13]. В этих и других работах [15, 16], в частности, устанавливается, что в Черном море длина волн составила 45–110 м, скорость распространения – 120–400 км/ч и соответственно время пробега от одного берега до другого от 10 до 110 мин. Максимальные времена пробега, естественно, относятся к случаям распространения цунами в субширотном направлении.

Систематизация собранных по цунами данных позволяет составить каталог известных в бассейне цунами. Такая попытка представлена в таблице. В ней мы постарались не только собрать фактические данные (год события, место максимального наблюдаемого цунами, максимальная наблюдаемая высота), но и дать оценки в соответствии с существующими классификациями и шкалами. Используются шкала интенсивности цунами Зибберга–Амбрассея [3] и шкала надежности данных С.Л. Соловьева [7]; в таблице также указаны сведения о причине цунами и о магнитуде породивших их землетрясений для случаев, когда цунами вызваны ими. Пункты генерации сотрясений и пункты наблюдения цунами показаны на рис. 2. Наблюдаемые и предполагаемые максимальные высоты для каждого цунами отражены на рис. 3.

Естественно, что надежными оказываются данные по цунами в основном для XIX–XX столетий, когда возникали цунами низкой интенсивности (I–III). Сведения о цунами высокой интенсивности (IV–V), отмечаемые для более раннего времени, характеризуются, как правило, низкой надежностью. Тем не менее, теперь ясно, что их необходимо всерьез принимать во внимание при изучении вопроса об опасности цунами в бассейне, во всяком случае Черного моря.

Обозревая материал в целом, можно обратить внимание на несколько важных положений.

Оказывается, что на протяжении последних двух тысяч лет цунами возникали практически на всех берегах Черного моря, хотя и не на всех участках. На Азовском море они известны на западном и южном берегах. Высота волн на берегах измерялась не только сантиметрами и десятками сантиметров, как это отмечено при нескольких землетрясениях текущего столетия, но составляла по нескольку метров, а в ряде случаев, вероятно, и существенно больше (рис. 3, 4).

На побережьях Крыма, для которых собрано относительно больше данных, можно считать, значительные цунами могут возникать каждое столетие или даже дважды–трижды в столетие.

Как и в других морях, в Черном и Азовском в целом выдерживается правило, заключающееся в том, что, отвлекаясь от других причин, высота волн – и их разрушительная энергия соответственно – тем больше, чем больше энергия (магни-

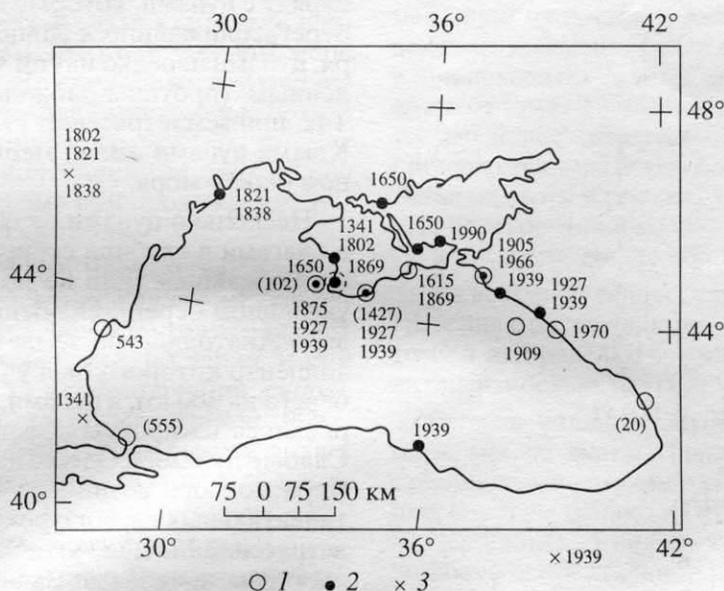


Рис. 2. Пункты и годы наблюдения цунами: 1 – пункты, где наблюдались цунами от близких источников ( $\leq 50$  км); 2 – пункты, где наблюдавшиеся цунами соотносятся с удаленными источниками; 3 – положение эпицентров удаленных землетрясений, с которыми соотносятся цунами.

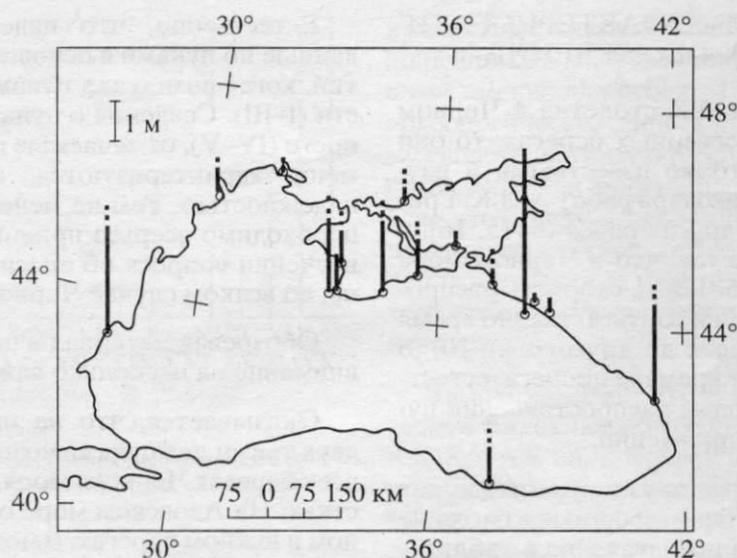


Рис. 3. Максимальная наблюдаемая высота цунами в разных пунктах побережья в метрах.

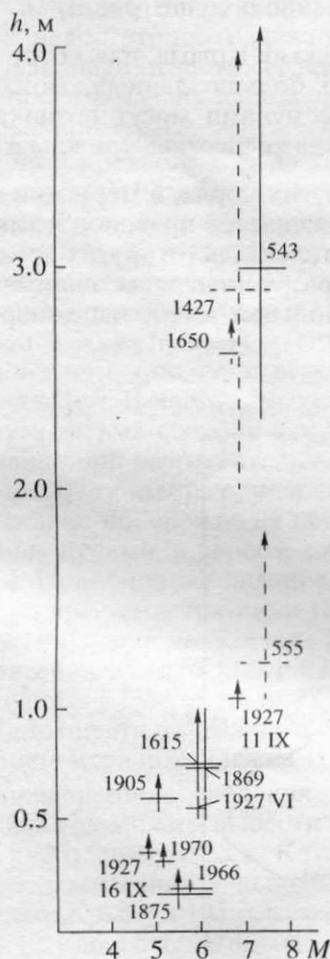


Рис. 4. Максимальные зарегистрированные высоты цунами в соотношении с магнитудами породивших их близких подводных землетрясений.

туда) породившего их землетрясения (таблица, рис. 4).

В Черноморском бассейне, подобно другим [2, 3, 5, 7, 8], по крайней мере две важных черты в возникновении цунами должны быть отмечены особо.

Во-первых, не все даже очень значительные землетрясения сопровождаются значительными цунами. В качестве примера в Черном море можно указать на известное разрушительное землетрясение 1901 г. с подводным очагом у мыса Калиакра на Болгарском берегу. С другой стороны, наряду с цунами, которые возникают на участках берега, ближайших к эпицентрам в акватории моря, цунами нередко идут и через акваторию к удаленным (противоположным) берегам (рис. 2). Так, при землетрясении 1927 г. у южных берегов Крыма цунами имело место и на северо-восточном берегу моря.

Несколько цунами от сильных землетрясений с очагами в глубине суши отмечались не только на ближайшем (или не на ближайшем), но и на удаленном берегу. Особенно яркий пример – Северо-Анатолийское землетрясение 26.12.1939 г., эпицентр которого был удален к югу от южного берега на 200 км, а цунами, хотя и слабые, фиксировались на противоположных берегах [11, 13]. Слабые цунами в Одессе на северном мелководье Черного моря возникали вследствие внутриконтинентальных глубокофокусных Карпатских землетрясений 1821, 1838 гг. Особый случай представляет цунами на западных берегах Азовского моря, по-видимому, в связи с сильным ( $M = 6.5$ ) землетрясением у юго-западного берега Крыма в середине XVII в. Если это явление реально, то, как и в случаях с Карпатскими землетрясениями 1802,

1821, 1838 гг., окажется, что цунами (цунами-подобные возмущения уровня моря) возникают в подобных случаях за счет относительно слабых ( $I = 5-6$ ) сейсмических колебаний суши на удалении в 200–400 км от источника колебаний. Впервые это явление установлено Б. Гутенбергом [67]. Оно, кстати, подтверждается и возникновением при землетрясениях сильного волнения на реках, как это, например, было на Дунае в 1892 г. при сотрясении в 7–8 баллов [68].

Применительно к Средиземному морю в работе [69] показано, что вдали от эпицентральной области, где сотрясения составляют заведомо менее 7 баллов, цунами могут возбуждаться подводными оползнями (мутьевыми потоками) на крутых участках дна, инициированными удаленными землетрясениями на суше.

В Черном море подобные явления не установлены, хотя их можно предполагать применительно к Восточно-Анатолийскому землетрясению 1939 г. и к землетрясению 1341 г. во Фракии.

В Черном и Азовском морях нельзя не обратить внимание на случаи возбуждения слабых цунами (нелинейных кратковременных возмущений поверхности моря) на мелководьях с плоским рельефом дна, где не приходится ожидать каких-либо необратимых подвижек. К таким случаям принадлежит цунами у северо-западных берегов Черного моря в районе г. Одессы, соотнесенные с землетрясениями в зоне Вранча в Карпатах (1821, 1838 гг.). При этом расстояния до мест наблюдения цунами от эпицентров составляют не менее 300 км, а интенсивность колебаний в местах фиксации цунами не более 4–5 баллов. Другой случай – это вероятное цунами на западных берегах Азовского моря, по-видимому, в связи с сильным подводным землетрясением 1650 г. в Черном море вблизи г. Севастополя. Для подобных случаев остается предполагать, что цунамиподобные возмущения водной поверхности возникают за счет сравнительно слабых колебаний ( $\geq 4$  баллов) дна и берегов мелкого водоема при прохождении поверхностных сейсмических волн.

Наконец, отметим, что в Черном, как и в других морях (но не в Азовском ввиду его мелководности), могут возникать цунами не только за счет сильных сейсмических явлений, но также и при подводных оползнях. С этой причиной скорее всего можно связывать, к примеру, цунами 1909 г. вблизи Кавказских берегов, когда высота волн в открытом море над континентальным склоном доходила до 3–5 м [51].

Подкрепление такого представления можно видеть в фактах двукратного разрыва подводного кабеля при вполне умеренном по силе землетрясении на Северо-Западном Кавказе в 1870 г. [42, 50, 51]. Широкое развитие турбидитов в приповерхностных отложениях моря у Кавказских,

Крымских и Болгарских берегов также подтверждает заключение о развитии здесь подводных оползней. Возникновение сильных цунами при крупных подводных оползнях имеет и натурные примеры, и подтверждается расчетами [70].

## К ВОПРОСУ О ЦУНАМИОПАСНОСТИ БЕРЕГОВ ЧЕРНОГО И АЗОВСКОГО МОРЕЙ

Из изложенного должно быть ясно, что проблема цунамиопасности стоит весьма серьезно применительно к берегам Черного и, возможно, Азовского, морей.

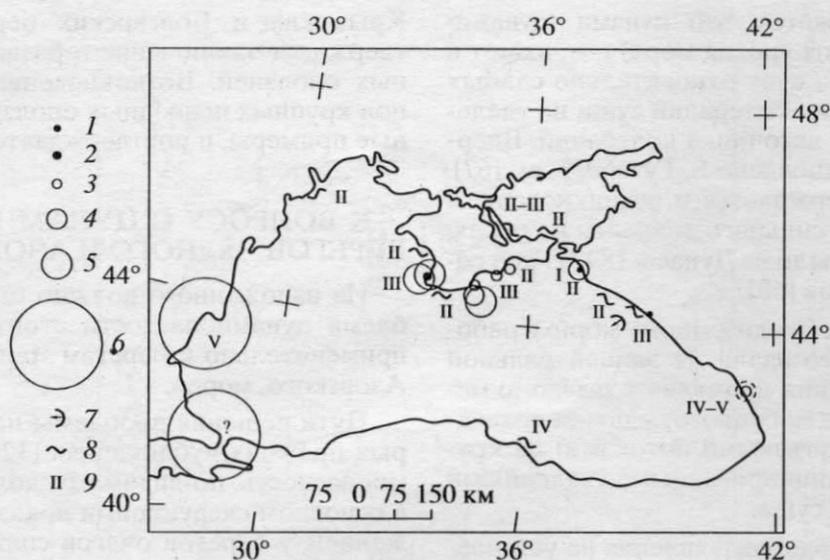
Пути решения проблемы намечены в некоторых прежних публикациях [12, 13, 18–20]. Цунамиопасность, по-видимому, должна определяться в основном следующими показателями: расположением у берегов очагов сильнейших ( $M > 6.5$ ) землетрясений, положением и механизмом очага, возможной максимальной интенсивностью (высотой волн) цунами в зависимости от контура и приглубости берега и возможной (вероятной) их повторяемостью.

Для определения всех этих показателей мы теперь располагаем значительно большим исходным материалом, хотя и недостаточным для их вычисления с желаемой точностью. С учетом исторических сведений о цунами и о расположении очагов сильных ( $M > 6.5$ ) землетрясений мы можем теперь выделить в Черном море не 3–4 цунамиопасные зоны [16, 19], а не менее 10 зон (участков). Как видно на рис. 5, они располагаются на всех берегах Черного моря, кроме крайнего северо-запада и юго-востока. По-видимому, последние участки действительно представляют наименьшую цунамиопасность, поскольку в их пределах не известны очаги сильных землетрясений и они находятся “в тени” при распространении цунами от других участков. Обратим внимание на то, что до настоящего времени значительно недооценивается опасность возникновения цунами от сильных (хотя и редких) землетрясений у восточных берегов Черного моря, на турецком его берегу, а также на западе вблизи устья р. Дунай.

На всех выделенных участках возникали землетрясения с интенсивностью порядка 9 баллов и поэтому в их пределах приходится допускать цунами интенсивностью V и IV по шестибальной шкале.

Очагов сильных землетрясений в Азовском море мы не знаем. Такие землетрясения представляют возможными у его северных и южных берегов, однако на представленной карте мы воздержались от показа цунамиопасных участков до более основательной проработки вопроса.

За пределами выделенных особо цунамиопасных участков Черноморского побережья возможны цунами III интенсивности как от местных землетрясений, так и от удаленных. От слабых



**Рис. 5.** Сильные цунамигенные землетрясения в прибрежных районах Черного и Азовского морей. Проекция очагов землетрясений в масштабе карты: 1 –  $5.0 \leq M \leq 5.5$ ; 2 –  $5.6 \leq M \leq 6.0$ ; 3 –  $6.1 \leq M \leq 6.5$ ; 4 –  $6.6 \leq M \leq 7.0$ ; 5 –  $7.0 \leq M \leq 7.5$ ; 6 –  $M \geq 7.5$ . Размеры очагов рассчитаны по формулам:  $\lg L = 0.6M - 2.5$ ;  $\lg W = 0.15M - 0.42$  (по В.И. Уломову). Характеристики цунами: 7 – цунами, порожденное подводным оползанием; 8 – цунами, возникшие в связи с удаленным землетрясением (показаны на участках, где местные цунами не отмечены); 9 – интенсивность цунами по шкале Зибберга–Амбрассея.

цунами интенсивностью I–III нельзя считать извлеченным практически ни один участок берега как на Черном, так и на Азовском море.

Что касается возможной повторяемости опасных цунами на выделенных особо участках, то строгие ее расчеты на имеющемся пока материале представляются преждевременными ввиду малонадежности. Можно дать только оценки, основанные, с одной стороны, на сведениях о цунами за последние 2 тыс. лет (прямые сведения), а с другой стороны, опираться на исторические сведения о сильных землетрясениях у побережий (косвенные сведения). Согласно такого рода оценкам значительные (интенсивностью >III) цунами в одной и той же зоне вряд ли возникают чаще, чем однажды в несколько сотен лет, между тем как в целом по бассейну они могут возникать каждое столетие или даже дважды в столетие.

Некоторые более конкретные расчетные данные о возможных характеристиках цунами на отдельных участках и на разных берегах Черного моря, особенно о временах добегания волн, можно найти в публикациях [9–16].

В целом мы приходим к выводу, что возможность возникновения сильных, в том числе и разрушительных, цунами в Черном море значительно выше, чем представлялось. Дальнейшая недооценка цунамиопасности в регионе как в научном, так и в практическом отношении чревата весьма серьезными последствиями. Поэтому проведение основанных на вновь полученном материале расчетов и цунамирайонирования побережий Черно-

го и Азовского морей представляется весьма насущной задачей.

Автор признателен С.Л. Соловьеву за инициирование данной работы и внимание к ней, коллективу кафедры физики моря физического факультета МГУ, К.В. Показиеву, Н.В. Шебалину и О.Н. Соловьевой за ценные замечания и предложения, Л.Д. Флейфель за техническую помощь.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ambraseys N.N.* The seismic sea wave of July 9, 1956, in the Greek Archipelago // *Journ. Geoph. Res.* 1960. V. 65. № 1. P. 1257–1265.
2. *Galanopulos A.G.* Tsunamis observed on the coasts of Greece from antiquity to the present time // *Ann. Geophys.* 1960. V. 13. P. 369–386.
3. *Ambraseys N.N.* Data for the investigation of the seismic sea-waves in the Eastern Mediterranean // *Bull. Seism. Soc. Amer.* 1962. V. 52. № 4. P. 895–913.
4. Annotated bibliography on tsunamis. International Union of Geodesy and Geophysics. Paris, 1964. 249 p.
5. *Antonopulos J.* Catalogue of Tsunamis in the Eastern Mediterranean from Antiquity to present time // *Annali di Geofisica.* V. XXXII, 1979. P. 113–130.
6. *Caputo M., Fatta G.F.* Primo catalogo dei maremoti delle coste Italiane. *Atti della Academia Nazionale de Lincei, Memorie. Ser. VIII.* V. 17. ser. 7. 1988. 356 p.
7. *Соловьев С.Л.* Средиземноморские цунами и их сопоставление с тихоокеанскими цунами // *Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли.* 1989. № 11. С. 3–17.
8. *Soloviev S.L.* Tsunamigenic zones in the Mediterranean Sea // *Natural Hazards.* 1990. V. 3. № 2. P. 183–202.

9. Григориаш З.К. Распространение цунами 1927 г. в Черном море // Тр. Морского гидрофиз. ин-та. 1959. Т. 18. С. 113–116.
10. Григориаш З.К., Корнева Л.А. Волны цунами, сопровождавшие Анапское землетрясение 12 июля 1966 года // Океанология. 1969. Т. IX. Вып. 6. С. 988–995.
11. Григориаш З.К. Обзор удаленных мареограмм некоторых цунами в Черном море // Тр. СахКНИИ ДВО АН СССР. Ю.-Сахалинск: СахКНИИ, 1972. С. 271–278.
12. Григориаш З.К., Корнева Л.А. Карты волнового поля и энергии цунами в Черном море // Изв. АН СССР. Сер. Физика атмосферы и океана. 1972. Т. XIII. № 5. С. 562–566.
13. Григориаш З.К., Корнева Л.А. Мареографические данные о цунами в Черном море при турецком землетрясении в декабре 1939 года // Океанология. 1972. Т. XII. Вып. 3. С. 417–422.
14. Фомичева Л.А., Рабинович А.Б., Демидов А.Н. Цунами в Черном море // Проект “Моря СССР”. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. IV. Черное море. Вып. 1. Гидрометеорологические исследования. СПб.: Гидрометеоиздат, 1991. С. 352–354.
15. Доценко С.Ф., Лобаз А.Р. Цунамигенные землетрясения Черноморского региона / Тезисы докладов III Конференции стран СНГ по морской сейсмологии и сейсмометрии. М., 1993. С. 10–13.
16. Доценко С.Ф. Черноморские цунами // Физика атмосферы и океана. 1994. Т. 30. В. 4. С. 513–519.
17. Христосков Л., Тъепкова-Заимова В. Возможна цунамигенност на землетрясени огнища в нашето черноморско крайбрежие // Българско Геофизично Списание. 1979. Т. V. № 4. С. 98–100.
18. Рангелов Б., Спасов Е., Доцев Н. Един модел за възникаване на цунами от българските черноморски огнища и прогнозиране на възможни последици от тях // Българско Геофизично Списание. 1983. Т. IX. № 4. С. 91–99.
19. Рангелов Б., Спасов Е., Доцев Н. Цунамиопасност за Българско Черноморско Крайбрежие // Българско Геофизично Списание. 1985. Т. XI. № 1. С. 66–73.
20. Rangelov B. Tsunami energy distribution according the Black Sea geometry / Abstracts Eur. Seism. Comm. XXIV General Assembly, 1994. Sept. 19–24, Athens, Greece.
21. Van Dorn W.G. Tsunamis Contemporary Physics. 1968. V. 9. P. 145–164.
22. Мурти Т.С. Сейсмические морские волны цунами. Л.: Гидрометеоиздат, 1981. 448 с.
23. Щетников Н.А. Цунами. Л.: Гидрометеоиздат, 1981. 89 с.
24. Nikonov A.A. Unknown catastrophic earthquakes on the Eastern Black Sea coast: an experience in archaeoseismic reconstructions // Eur. Seism. Comm. Proc. XXI General Assembly, Sofia, 1989. P. 101–111.
25. Nikonov A.A. Disappearance of the old cities Dioscuria and Sebastopolis in Colchis as a problem in engineering geology and paleoseismology // Archaeoseismology. Eds. S. Stiros and R.E. Jones. Oxbow. Oxford. 1996. P. 61–71.
26. Мучения Святого Климента // Записки Одесского об-ва истории и древностей. 1877. Т. X. С. 168.
27. Никонов А.А. Цунами Черного и Азовского морей // Природа. 1994а. № 3. С. 72–77.
28. Летопись византийца Феофана. М. 1890. 370 с.
29. [E. Guidoboni. Ed.] I terremoti: prima del Mille in Italia e nell area mediterranea. Bologna, 1989. 765 p.
30. Catalogue of earthquakes for the Balkan Region. UNESCO. Skopje. 1974.
31. Кедрин Г. Деяний церковных и гражданских... Т. 1. СПб., 1794.
32. Cantacusen J. Historiae. Bonn, 1828–1832. Т. 2. 477 p.; Т. 3. 277 p.
33. Смирнов М.В. Каталог землетрясений в Крыму. Симферополь, 1931. 48 с.
34. Florinesco A. Catalogue des tremblements de terre ressentis sur le territoire de la R.P.R. Bucuresti, 1958. 167 p.
35. Легенды Крыма. Симферополь: Крым, 1890. 370 с.
36. Никонов А.А. Землетрясения в сказаниях и легендах // Природа. 1983. № 11. С. 66–75.
37. Мелкие хроники. Ереван, 1956. Т. 1. (На армянском языке.)
38. Никонов А.А. Землетрясения XVII в. в Восточном Крыму // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1986. № 6. С. 79–83.
39. Ksiega podrozy Ewliji Czelebigo (Wybor). Warszawa, 1969.
40. Никонов А.А. Неизвестное землетрясение в Крыму // Природа, 1995. № 8. С. 88–93.
41. Сумароков П. Досуги крымского судьи. Ч. 1. СПб., 1803.
42. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен, 1977. Москва: Наука, 536 с.
43. Mallet R., Mallet J. Catalogue of recorded earthquakes from 1606 B.C. to AD 1850. Brit. Assoc. Rep. London, 1852–1854.
44. Мушкетов И.В., Орлов А.П. Каталог землетрясений Российской империи. СПб., 1893. 582 с.
45. Маркевич А.И. Летопись землетрясений в Крыму (историческая справка) // Черноморские землетрясения 1927 и судьбы Крыма. Симферополь: Крымгосиздат, 1928. С. 63–73.
46. Пассек Т.П. Из дальних лет. Воспоминания. Т. 2. М.: Госиздат, 1963. 791 с.
47. Никонов А.А., Пономарева О.Н. Сильные землетрясения Крыма во второй половине XIX в. // Комплексная оценка сейсмической опасности / Вопросы инженерной сейсмологии. М.: Наука, 1991. Вып. 32. С. 59–76.
48. Полумб А. Очерк Крымских землетрясений. Симферополь: Госиздат, Крым. АССР, 1933. 70 с.
49. Бюллетень Постоянной Центральной Сейсмической Комиссии за 1905 год. СПб., 1906–1907.
50. Ананьин И.В. Землетрясения Северного Кавказа. М.: Наука, 1977. 148 с.
51. Бюс Е.И. Сейсмические условия Закавказья. Изд. АН ГрССР, 1948. Ч. 1. 304 с.
52. Двойченко П.А. Черноморские землетрясения 1927 года в Крыму // Черноморские землетрясения

- 1927 и судьбы Крыма. Симферополь: Крымгосиздат, 1928. С. 77–98.
53. Двойченко П.А. Землетрясения в Крыму. Красный Крым. 1927. № 218.
54. Шимановский С.В. Сообщение о Крымском землетрясении 12 сентября 1927 года // Черноморские землетрясения 1927 и судьбы Крыма. Симферополь: Крымгосиздат, 1928. С. 43–49.
55. Вознесенский А.В. Землетрясения 1927 г. в Крыму // Природа. 1927. № 12. С. 960–974.
56. Известия (газета). 1927. №№ 211, 213.
57. Правда (газета). 1927. № 210.
58. Бюллетень погоды и состояния моря. № 26. Феодосия, 1928. 9 с.
59. Кельин Н. Некоторые данные о последнем землетрясении в Крыму // Землеведение. Т. XXX. Вып. I–II. М.–Л., 1928. С. 3–44.
60. Черноморские землетрясения и судьбы Крыма. Симферополь: Крымгосиздат, 1928. 131 с.
61. Медведев С.В., Морозова Р.Н. Каталог сильных землетрясений Крыма. М.: ИФЗ, 1962. 40 с.
62. Рихтер Ч.Ф. Элементарная сейсмология. М.: Изд-во иностр. литер., 1963. 670 с.
63. Добрыченко А.В., Зарайский М.П., Вандышева Н.В., Шебалин Н.В. Сочинский рой землетрясений 1969–1971 гг. // Землетрясения в СССР в 1971 г. М.: Наука, 1975. С. 36–45.
64. Imamura A., Morya M. Mareographic observations of tsunamis in Japan during the period from 1894 to 1924. Japanese Journ. of Astronomy and Geophysics Transactions. Tokyo, 1939. V. XVIII. № 1. P. 119–140.
65. Щеглов А.Н. Северо-западный Крым в античную эпоху. М.: Наука, 1978. 158 с.
66. Никонов А.А. Сильные землетрясения и сейсмический потенциал Западно-Крымской (Севастопольской) очаговой области // Физика Земли. 1994. № 11. С. 20–31.
67. Gutenberg B. Tsunamis and Earthquakes // Bull. Seism. Soc. Amer. 1939. V. 29. № 1. P. 517–526.
68. Draghicescu M. Les tremblements de terre de la Roumanie et des pays environnants. Bucarest Inst. d'Arts graphiques Carol Gold. 1896. 84 p.
69. Соловьев С.Л., Кампос-Ромеро М.Л., Плинк Н.Л. Цунами Орлеансвиль 1954 г. и Эль-Аснам 1980 г. в море Альборан (юго-запад Средиземного моря) // Физика Земли, 1992. № 9. С. 15–40.
70. Гардер О.И., Долина И.С., Пелиновский Е.Н. и др. Генерация волн цунами гравитационными литодинамическими процессами // Исследования цунами. М., 1993. № 5. С. 50–60.

Сдано в набор 2.10.96 г.

Подписано к печати 26.11.96 г.

Формат бумаги 60 × 88<sup>1</sup>/<sub>8</sub>

Офсетная печать Усл. печ. л. 12.0

Усл. кр.-отт. 5.0 тыс.

Уч.-изд. л. 11.2

Бум. л. 6.0

Тираж 397 экз.

Зак. 835