

ГЕОФИЗИКА

УДК 550.343+550.348.61+551.244+550.344.42

НОВЫЙ КАТАЛОГ ЦУНАМИ В ЧЕРНОМ И АЗОВСКОМ МОРЯХ В ПРИЛОЖЕНИИ
К ОЦЕНКЕ ЦУНАМИОПАСНОСТИ РОССИЙСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ

А.А. Никонов¹, В.К. Гусяков^{2,3}, Л.Д. Флейфель¹

¹ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, 123810, Москва, Б. Грузинская, 10, Россия

² Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 6, Россия

³ Институт вычислительных технологий СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 6, Россия

Представлены результаты углубленной работы по созданию существенно более полной и уточненной версии каталога землетрясений и цунами в бассейне Черного и Азовского морей, в регионе приоритетного значения для РФ. На протяжении XX в. в Черном море не было случаев значительных цунами, поэтому его побережье не рассматривалось как цунамиопасное. Систематический поиск новых источников, пересмотр ранее известных, использование новых подходов к выявлению цунамигенных событий и способов их идентификации позволили более чем удвоить число известных цунамигенных событий в бассейне, доведя его до 50. Общая продолжительность новой версии каталога цунами достигла 3 тыс. лет, что делает его вторым по длительности после средиземноморского каталога (около 4 тыс. лет). С учетом сейсмотектонических особенностей региона обработаны источники сведений о проявлениях исторических цунами, проанализировано географическое и временное распределение их очагов. Для всех событий каталога выполнена параметризация сведений об источниках цунами и их проявлениях на побережьях, сделаны оценки интенсивности цунами по шкале Соловьева—Имамуры, проработана типизация цунами и цунамиподобных водных возмущений по генетическому признаку. Насколько позволяют вновь вовлекаемые в рассмотрение сведения, даны оценки высоты и дальности заплеска, а также нанесенного ущерба. Среди выявленных событий обнаружилось разрушительное цунами с высотами до 4—5 м, иногда до 6—8 м, вызывавшие гибельные последствия для древних городов (Диоскурия, Себастополис, Бизона, Пантикапей) и многих прибрежных поселений. Экспертно намечены участки побережий, более опасные в отношении воздействия цунами.

Природные катастрофы, очаги землетрясений, сейсмотектоника, цунами, исторические каталоги, цунамиопасность, цунамийонирование, внутренние бассейны, Черное море, Азовское море.

ASSESSMENT OF THE TSUNAMI HAZARD ON THE RUSSIAN COAST BASED
ON A NEW CATALOGUE OF TSUNAMIS IN THE BLACK SEA AND THE SEA OF AZOV

A.A. Nikonov, V.K. Gusiakov, and L.D. Fleifel¹

We present the results of work on the compilation of a fuller and more comprehensive historical catalogue of earthquakes and tsunamis in the basin of the Black Sea and the Sea of Azov, an area of primary importance for the Russian Federation. In the 20th century, there were no significant tsunamis in the Black Sea; therefore, its coast was not considered tsunami-prone. A systematic search for new data sources, a revision of earlier ones, and the use of new approaches to the identification of tsunamigenic events resulted in a more than doubling of the number of known tsunamigenic events in this basin, bringing it up to 50. The total length of the new tsunami catalogue reached 3000 years, which makes it the second longest after the Mediterranean tsunami catalogue (about 4000 years). Taking into account the seismotectonic features of the Black Sea region, we processed data on historical tsunamis and analyzed the geographical and temporal distributions of their sources. For all tsunamigenic events we performed a parameterization of available information about their sources and coastal manifestations, evaluated the tsunami intensity based on the Soloviev–Imamura scale, and proposed a classification of tsunami and tsunami-like water wave disturbances based on their genesis. Tsunami run-up heights, inland penetration, and damage were estimated with regard for the newly found data. Among the identified historical events, there are devastating tsunamis with run-ups of 4–5 m, sometimes up to 6–8 m, which resulted in disastrous consequences for several ancient cities (Dioscuria, Sebastopolis, Bizone, and Panticapaeum) and many coastal settlements. Expert assessments of the most tsunami-prone areas of the coasts are given.

Natural disasters, earthquake sources, seismotectonics, tsunami, historical catalogues, tsunami hazard, tsunami zoning, inland basins, Black Sea, Sea of Azov

ВВЕДЕНИЕ

В основе исследования цунамиопасности любого побережья лежат знания о случившихся на нем цунами, отраженные в текстовых описаниях и в параметрических каталогах цунами, конвертируемых затем в базы данных. Цунами на Черном море известны с глубокой древности, со времени освоения берегов греческими колонистами в VII-VI вв. до н.э. Однако из-за скудости и лапидарности сведений, невозможности выделения цунами среди других водных возмущений это явление длительное время не привлекало внимания ученых. Первые публикации З.И. Григораш по черноморским цунами, последовавшими за землетрясениями 1927, 1939 и 1966 годов, были посвящены изучению современных цунами по записям мареографов [Григораш, 1959, 1972; Григораш, Корнева, 1969, 1972]. Волны от них были слабыми и не повлекли существенного ущерба, сопоставимого с повреждениями от самих землетрясений. Б. Рангеловым с коллегами [1983] проделана значительная работа по поиску новых материалов о черноморских цунами, в основном на западном (Болгарском) побережье. Первая попытка выхода за пределы инструментального периода довела число событий до 9 и показала, что в бассейне случались цунами, по силе и масштабу разрушений значительно превосходившие таковые недавнего времени [Доценко, 1994]. Целенаправленный поиск дополнительных источников [Никонов, 1997] позволил более чем удвоить число исторических цунами, увеличить их общее число до 22. Среди них оказались действительно опасные события, сопровождавшиеся разрушениями и гибелью древних городов. Цунамиподобные явления наблюдались и в мелководном Азовском море.

В опубликованном в 2011 г. каталоге цунами для побережья Турции [Altinok et al., 2011] приведены сведения о 134 цунамигенных событиях, среди которых только шесть имели очаги в Черноморском бассейне. В том же 2011 г. появился специализированный каталог цунами в Черном и Азовском морях [Paparopoulos et al., 2011], содержащий краткие описания и параметрический список 26 исторических цунами в бассейне Черного моря с I столетия до н.э. по 2007 г. Набор событий и исходные сведения в нем практически совпали с таковыми в работе [Никонов, 1997], расхождения в основном касались датировок, оценок положения и типов источников нескольких древних событий. В глобальной базе данных по цунами [NGDC/WDC..., 2016] содержатся сведения о 17 цунамигенных событиях в бассейне Черного моря за период с 50 г. до н. э. по 2007 г.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КАТАЛОГИЗАЦИИ ЦУНАМИ

Основные теоретические и методические вопросы изучения цунами десятилетиями разрабатывались применительно к условиям их возникновения, распространения в океанах и воздействия на океанические берега с их специфическими особенностями. Опыт изучения цунами и цунамиподобных событий во внутренних, изолированных и почти изолированных бассейнах значительно скромнее. Между тем внутренние бассейны, помимо гораздо меньшего пространственного масштаба, имеют ряд других особенностей и отличий, связанных, в первую очередь, с иной структурно-геодинамической обстановкой, в которой возникают землетрясения и другие порождающие цунами явления.

В отличие от подхода специалистов, работавших по теме цунами и по проблеме оценки цунамиопасности Черного моря [Соловьева и др., 2004; Yalciner et al., 2004; Соловьева, Кузин, 2005], мы исходили из необходимости работать не с эпицентрами, а с очагами в их масштабном изображении (в виде проекций на поверхность и с учетом размеров и простираения). Сведения об источниках цунами анализируются обязательно в соотношении с конкретной тектонической структурой в очаговой и приочаговой областях, а также с общей геодинамической ситуацией в регионе. Такой подход является единственно возможным для оценки положения очагов исторических цунами, происшедших в доинструментальную эру, для которых нередко отсутствуют даже грубые количественные оценки координат источника. В пределах Российского побережья локализация и делинеация очагов даже известных ранее цунами сейсмогенного происхождения производилась заново, на основе значимо более полной и усовершенствованной версии сейсмического каталога для крымского и кавказского берегов бассейна [Никонов, 2016в].

На новом этапе изучения исторических цунами в Черном море сделана попытка усовершенствовать примененный ранее [Никонов, 1997] подход путем вовлечения большего числа первичных источников разного характера и дополнения их рядом сопутствующих, конкретных на каждом участке, природных проявлений, а также вновь обнаруженных исторических сведений. Основные позиции состояли в следующем: 1) использование более разнообразного и обширного круга источников первичных сведений и их анализ в совокупности; 2) привлечение, сколь возможно, помимо сведений собственно о цунами также данных по геологии, тектонике, геоморфологии, эндо- и экзогенным процессам в водной и подводной средах, в воздушной среде, в биосфере (поведение людей), в твердой земле как в отношении самих процессов, так и их последствий; 3) привлечение помимо данных (разной точности и надежности) о координатах эпицентра и магнитуды исходного землетрясения сведений о простираении, размерах, кинематике сейсмогенерирующего разлома и возможного механизма очага.

При каталогизации цунами особенно важной является задача классификации событий по типу источника, т. е. определение его природы. В целях достижения общности и совместимости каталога с международными стандартами использовалась типизация источников цунами, принятая в новом европейском каталоге цунами [Maramai et al., 2014]. В нем выделено 11 типов, разбитых на четыре группы: сейсмогенные, оползневые, вулканогенные и метеорологические. Из них в настоящей работе использовано семь типов, включая дополнительный тип U (unknown) для источников неизвестной природы (таблица).

Второй важной задачей является классификация цунамигенных событий по общей энергии или по силе проявления на побережье. Такая классификация реализована в нескольких шкалах (обзор см. в [Gusiakov, 2009]), которые по аналогии со шкалами, используемыми в сейсмологии, могут быть разбиты на две группы — шкалы магнитуд и шкалы интенсивностей. До сих пор не существует общепризнанной шкалы магнитуд цунами, привязанной к энергии источника цунами. В данной работе энергетический уровень черноморских цунами оценивался в соответствии со шкалой интенсивности Соловьева—Иммуры [Соловьев, 1972], основанной на средних высотах заплеска волн на ближайшем к очагу побережье. Основным мотивом применения именно этой шкалы явилось стремление привести региональный каталог к формату, близкому к используемому в глобальных базах данных по цунами, и облегчить последующую интеграцию в них новых данных о черноморских цунами. При скудности данных о высотах заплеска для большинства черноморских цунами задача их энергетической классификации решалась в упрощенной постановке, сводившейся к разбиению выявленных исторических событий на группы, соответствующие целочисленным баллам шкалы интенсивности. Анализ собранных данных показал, что событий с интенсивностью 4 (средняя высота 8—10 м), т. е. действительно катастрофических цунами, разрушительным образом затрагивавших все побережье бассейна, в Черном море за историческое время не случилось. События каталога были расклассифицированы на четыре группы: 0 (слабые), 1 (ощутимые), 2 (опасные) и 3 (разрушительные). Точность экспертной оценки интенсивности событий доинструментального периода составляет примерно 1 балл, тем не менее это открывает возможность получения статистически значимых результатов в целом по бассейну.

Оценка степени надежности события принята в баллах шкалы достоверности V (validity), отражающих вероятность того, что событие (проявление необычной волновой активности в прибрежной зоне либо на берегу) является именно цунами, происшедшее в указанном месте и в указанное время. Шкала достоверности состоит из четырех баллов: $V = 4$ — достоверное (вероятность около 100 %), $V = 3$ — вероятное (вероятность примерно 75 %), $V = 2$ — возможное (вероятность около 50 %), $V = 1$ — сомнительное (вероятность менее ≤ 25 %). Дополнительно используется балл $V = 0$ для характеристики недоверенных сообщений. Включение в каталог событий с низкой достоверностью продиктовано стремлением донести информацию о них до возможно более широкого круга исследователей и сориентировать их на дополнительный поиск архивных, археологических и геологических данных и, соответственно, повысить степень надежности либо исключить такие события из числа цунамигенных.

СЕЙСМИЧНОСТЬ И СТРУКТУРНО-ДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА

За последние четверть века произошел коренной пересмотр представлений о сейсмичности и сейсмической опасности Российского Причерноморья в долгосрочном аспекте. Он связан не с возникновением в регионе в этот период каких-либо сильных землетрясений, а исключительно с использованием новых подходов и способов получения и обработки разного рода исходных материалов по сильным землетрясениям исторического (в данном регионе за последние 2.5 тыс. лет) и доисторического периодов. В работах [Никонов, 2000, 2016в] для всего Российского побережья Черного моря создана новая версия каталога сильных землетрясений (с $M \geq 5.5$), насчитывающая десятки (вместо первых единиц) параметризованных сейсмических событий. Выделено 10 крупных сейсмогенерирующих зон — сейсмолинеаментов (вместо 1—2), заново определены значения максимальной интенсивности сотрясений I_{\max} и магнитуды M . Для каждой из них в долгосрочном аспекте осуществлены экспертные оценки повторяемости разрушительных событий [Никонов, 2016в].

В геолого-структурном и геодинамическом отношении Черноморский бассейн — это глубокий новейший прогиб земной коры между складчатым Анатолийским (Понтским и Таврским) горным поясом и северным краем Аравийской плиты на юге и Скифской плитой и Восточно-Европейской платформой на севере. Впадина в плане имеет близкую к овальной форму с широтной вытянутостью. Наибольшие глубины дна впадины достигают 2.0—2.2 км. Впадину обрамляют обширные пространства шельфа. Континентальный склон выражен вполне отчетливо и служит областью разгрузки донных осадков на глубину, в виде подводных оползней и мутьевых потоков по подводным каньонам.

Главный геодинамический фактор, действующий с начала эпохи новейшей активизации, определяющий морфологию и структурный каркас региона, а также главные особенности сейсмогенеза в виде сильных землетрясений, — это общее латеральное сжатие в меридиональном направлении, скорость

Каталог выявленных цунамигенных событий в бассейне Черного и Азовского морей с 1000 г. до н.э. по 2015 г.

№ п/п	Дата, время (UTC), район очага	Координаты очага (с.ш.; °в.д.)	M	I_{max}	I	H_{max}/D_{max}	CAU	V	Комментарий (фактические сведения о цунами, ущербе и жертвах, источники данных)
1	-1000 ± 200, ю.-з. ЧМ (Босфор)	41.20; 29.11	7 ± 0.7	(9—10) ± 1	2	≥ 5 м / — в проливе (≥ 2—3 м) / — на берегах	EM	4	Несколько крупных волн в проливе, вероятно, с выходом в Черное море с эффектом на прилегающих берегах [Родосский, 1964; Никонов, 2017а]
2	-530 ± 20, с.-з. ЧМ -485 ± 15, с.-з. ЧМ	46.15 ± 0.5; 31.9 ± 0.5 44.4 ± 0.3; 33.2 ± 0.3	6.5 ± 0.5 6.8 ± 0.5	8 ± 1 9 ± 0.5	2	3—5 м / —	EM	2	Тендровская коса. «Ахилл легким способом произвел очищение острова: он поднял поверхность моря и таким образом все это (женщин и коней) смыл и очистил» [Латышев, 1948]. Весьма вероятны ущербы и человеческие жертвы
3	-250 ± 50, зап. поб. ЧМ (Варненский залив)	43.4; 28.2	—	—	2—3	≥ 2—3 м / — ≤ 7—8 м / —	E	2	г. Бизона (сев. берег Варненского залива) «ушел в воду», а города Аполлония (Созополь) и Каллатис (Мангалия) сильно пострадали от землетрясения, по сведениям Посидония и Страбона [I tettemoti..., 1989]
4	-63, Керченский пролив	45.3 ± 0.2; 36.5 ± 0.1	6.8 ± 0.3	9 ± 0.5	2.5	≥ 5—7 м / —	EM	4	Сильнейшее землетрясение, вызвавшее «грандиозные разрушения городов и полей» и, несомненно, сопровождавшееся значительным цунами. Неизбежны человеческие жертвы и огромный ущерб [Никонов, 2016а, б]
5	-20 ± 20, ю.-в. ЧМ (Сухуми)	43.00; 41.00	—	—	2—3	— / —	E	3	г. Диоскурия (Сухуми). Абхазская легенда: «город поглотило море» [Шервашидзе, 1967]. Археологические данные. Вероятны значительный ущерб и человеческие жертвы
6	49, Восточный Крым (район Судака)	44.7 ± 0.2; 35.5 ± 0.2	6.8 ± 0.5	9 ± 0.5	—	≥ 2—3 м / —	EM	2	Несколько кораблей (ибо войско возвращалось морем) выбросило к берегу тавров, и их окружили варвары, убившие префекта когорты и множество воинов из вспомогательного отряда [Тацит, 1993]
7	103 ± 5, ЮЗ Крым (Херсонес)	44.4 ± 0.3; 33.2 ± 0.3	6.8 ± 0.5	8 ± 0.5	1	— / 3—4 км	E	3	У берегов Херсонеса море временно отступило от берега от восточного окончания залива у Инкермана (в долине р. Черной) на 3—4 км [Никонов, 1997]
8	235 ± 25, с.-в. ЧМ (Анапа)	44.7 ± 0.3; 37.2 ± 0.3	6.8 ± 0.5	9 ± 0.5	—	≥ 2—3 м / —	E	2	О морской катастрофе можно судить по надписи на каменной плите в честь бога Посейдона, в руинах г. Гортипия (Анапа) [Гортипия..., 1980]
9	330 ± 5, ю.-в. ЧМ (Сухуми)	42.80; 40.80	7.0	—	2	— / —	E	2	г. Себастиополис (Сухуми). «Город поглотило море» [Шервашидзе, 1967] может относиться к этому событию. Археологические и геологические данные [Никонов, 1997]. Неизбежны ущербы и жертвы
10	407 IV.01, ю.-з. ЧМ (Босфор)	41.11 ± 0.1; 29.06 ± 0.1	—	8	2	≥ 3 м / —	E	2	В Константинополе «пострадало много судов и немало трупов людей выброшено на берег» [I tettemoti..., 1989]
11	544/545, запад ЧМ (Варна, Балчик)	43.1; 28.2	7.5	9	3	2—4 м / 5—6 км	EM	4	«В 18 год царствования Юстиниана I (527—656 гг.) море во Фракии утлублилось (внутри суши) на 4 мили и залило (участки) в Одессе (Варна), Дионисополе (Балчик) и Афразоне. Много людей утонуло в воде. Затем по божему повелению море вернулось к своим границам» [Летопись..., 1890]. «Море вышло из своих пределов на 3 мили во Фракии, уничтожило множество селений и усадеб, потопило неведомо сколько людей и затем отплетло» [Христовсков, Тъпкава-Займова, 1979]

№ п/п	Дата, время (UTC), район очага	Координаты очага (с.ш.; в.д.)	M	I_{\max}	I	H_{\max}/D_{\max}	CAU	V	Комментарий (фактические сведения о цунами, ущербе и жертвах, источники данных)
12	557, ю.-з. ЧМ	41.4; 28.0	7.5	10—11	2	3—5 м/ 4.5 км	E	4	«Море изъездь въ Фракыи за три поприща и многы человеки и села по-топи» [Детопиш... 2000]. Во Фракии море на (протяжении) 4.5 км вышло из берегов, причинив большой ущерб территории и вызвав много жертв [Тетепоти..., 1989]
13	1292.I.30 (II.04), Восточный Крым (Судак)	44.6±0.3; 35.2±0.3	6.8±0.3	(8—9)± ±0.5	1	≥2—3 м/—	E	2	г. Судея. «Гряслась земля». Неясные сведения о цунами [Новый ката-лог... 1977]. «Налетел бешеный шквал, обдал сирийский корабль пеной и точно белой корой покрыл его [Легенды..., 1998]
14	1423, ЮЗ Крым (от Фороса до Аю-Дага)	44.3±0.5; 34.3±0.5	7.5±0.3	9±0.5	2—3	≥3—5 м/—	EM	4	«И поднялись ... из воды такие великие волны у всего крымского побере-жья, что много погибло джинов, бывших у берега, и несколько прибреж-ных деревень были начисто смыты» [Легенды..., 1998]. Длина участка берега, где фиксировалось цунами, 45 км
15	1598, центральная часть северного побережья Турции	40.60; 35.50	8.0	9	3	3—4 м/ >1 мили	EL	4	«В 1598 году было землетрясение в Черном море, ... море быстро ото-шло обратно, утопив несколько тысяч человек в городах и поселениях» [Ambraseus, Finkel, 1995, с. 58]. «Море накатилось на расстояние 1 мили на берег, потопив много людей» [Ergin et al., 1967]
16	1615.V.26, ЮВ Крым (Феодосия, Судак)	44.7±0.2; 35.3±0.2	7.0±0.3	9±0.5	1	≥2 м/—	EM	4	«В 1615 (1615) году ... в мае месяце 26, в пятницу, было землетрясение в г. Кафа: ... заколебалась земля... поднялось море, заколыхалось и пошло обратно» [Мелкие хроники..., 1951]. Ущерб вполне вероятен
17	1650.IV.29, с.-з. ЧМ, западная часть АМ	44.7±0.2; 33.0±0.3	7.0±0.5	9±0.5	2	≥3 м/— в Севастополе; 4—6 м/— в АМ; ≥5—6 м / >10 км низовья Днепра, Буга и Днестра	EM	3	Геологические следы цунами в Севастопольском заливе [Никонов, 1997]. «Азовское море разлилось и соединилось с Сивашом, а затем отступило от прибрежных замков» [Szelebi, 1969]. «Попятили реки свое течение», «где степь была, разлилось ... море», «много людей потонуло, а много и живыми унесло ... море» [Амфитратов, 2001]
18	1799.IX.15, ю.-в. АМ	45.35; 37.39	н/о	н/о	2	4 м/—	Vm	4	К северу от пос. Темрюк «море ... было так бурно, что не было возмож-ности плыть на лодках и волны были сажени в две вышиною». Продолжа-лось 2 ч [Паллас, 1883]
19	1802.X.26, Румыния (зона Вранча)	45.7±0.5; 26.6±0.5	7.6±0.3	9.5±0.5	1	—/—	EL	4	«В Кезлове (Евгатория)... море, как в кипящем котле, возносило бугра-ми поспенные волны, все основания домов потрясались...» [Сумароков, 1803]
20	1821.XI.17, Румыния (зона Вранча)	45.7±0.5; 26.6±0.5	6.5±0.5	(7—8)± ±0.5	1	≥0.5 м/—	EL	4	«1821. XI. 29. Одесса. Землетрясение продолжалось 40 с, море при этом поднялось выше обычного уровня» [von Hoff, 1841, с. 162]
21	1838.I.23, Румыния (зона Вранча)	45.7±0.5; 26.6±0.5	7.5±0.2	9±0.5	0	—/—	EL	4	Одесса: «землетрясение 11 числа (старого стиля) ощущено было и на судах, стоящих в здешной гавани; действие его на море сравнивают с сотрясением, чувствуемым на судне при ударе об отмель». «Многие из судов в гавани пострадали от сильного волнения на море» [Пассек, 1963, с. 243—244]

22	1869.XI.10, ЮВ Крым (Судак)	44.7±0.2; 35.1±0.2	6.0±0.3	(7—8)±0.5	0	1 м/—	EM	4	В Судак «море быстро оголо на сажень по всему берегу... а потом вернулось к прежнему уровню». «В Евпатории возникла кратковременная сильная приливная волна высотой до 1 м, которая залила набережную» [Смирнов, 1931]. «В г. Евпатории волной повредило стенку дома» [Полумб, 1933]
23	1875.VII.25, ЮЗ Крым (Севастополь)	44.4±0.2; 33.2±0.2	5.5±0.5	8±0.5	—	≥0.1 м/—	EM	2—3	«В море у Севастополя вода всколыхнулась и будто запенилась» [Полумб, 1933]
24	1875.VIII.08, 11.00±1 ч, ЮВ Крым (Феодосия)	44.8±0.3; 35.7±0.3	5.4±0.5	8±0.5	2—3	>5 м/—	EM	3	Мыс Ильи. «...накатился на судно вал выше мачты на много мер... оторвался руль и понеслось судно по воле ветра к береговой скале» [Легенды..., 1998]
25	1892.X.14, северное побережье ЧМ	44.58; 28.86	7.0±0.5	7—8	1	≥2 м/—	E	4	«На Дунае поднялись огромные волны, словно во время бури» [Draghizenu, 1896; Никонов, Никонова, 1990]
26	1901.III.31, западное побережье ЧМ (Балчик)	43.40; 27.93	7.1	9±1	2	3 м/—	EM/ LC	4	Мощное землетрясение, при котором было цунами. В Балчике заплеск поднялся на 2.5—3.0 м [Рантелов и др., 1983; Rangelov et al., 2008]. Вероятны ущерб и человеческие жертвы
27	1905.X.04, 23:26, с.-в. ЧМ (Анапа)	44.70±0.2; 37.40±0.2	5.1±0.7	(6—7)± ±1	1	≥2—3 м/—	E	3	«На море поднялись такие сильные волны, что стоявший во время землетрясения пароход подбросило». «Во время землетрясения, бывшего в 23 ч 26 мин, на море образовалось две или три сильных волны» [Бюллетень..., 1907; Новый каталог..., 1977]
28	1909.IV.08, 0:30, с.-в. ЧМ	44.20; 38.10	—	—	—	4—5 м/—	U	3	«1909. Апрель, 8.0 ч 30 мин., Багуми. Моретрясение близ мыса Идокогас в виде 3 волн, высотой 4—5 м» [Бюс, 1948]. О воздействии на берег сведений нет
29	1919, XII.01±45 дней, Южный берег Крыма	44.7±0.3; 35.6±0.3	6.2±0.5	8±0.5	0	—/—	EM	2	Сообщение о моретрясении, испытанном пассажирами парохода на переходе из Новоросейска в Ялту в конце 1919 г. на участке пути между Феодосией и Судаком [Вернадский, 1994]
30	1921.I.25, западное побережье ЧМ (Варна, Бургас)	42.5; 27.5	—	—	1	-1.12 м/40—50 м -0.75 м/—	LM	4	В Бургасском заливе понижение уровня моря на 1.12 м. Вода ушла от берега на 40—50 м. В Софии сейсмографы не отметили землетрясения. 26 января в море появились пятна. В Варненском заливе вода опустилась не менее чем на 0.75 м [Роздев, 1970]
31	1927.VI.26, 11:20:45, Южный берег Крыма	44.1±0.5; 34.0±0.5	6.0±0.1	7±0.5	1	>1 м/—	EM	4	Вдоль Южного берега Крыма море немного отошло от берегов и уровень его понизился на 15—20 см, а затем оно нахлынуло небольшой волной на пляж. Балаклава: у скальных обрывов «шум огромных накатов в море» [Двойченко, 1928а, б]
32	1927.IX.11, 22:15:52, западная часть Южного берега Крыма	44.3±0.5; 34.3±0.5	6.8±0.1	9±0.5	1	0.5—1 м/15 м	EM	4	«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» [Двойченко, 1928 а, б]. Ялта — «местами на берегу сдвигались рыбацкие лодки» [Полумб, 1933]. «Ночью, во время первого удара, море в бухте отошло футов на 7—8 (2—2.5 м) от берегов» [Федин, 1928]. Марсеограмма [Григораш, 1972]

№ п/п	Дата, время (UTC), район очага	Координаты очага (°с.ш.; °в.д.)	M	I_{\max}	I	H_{\max}/D_{\max}	CAU	V	Комментарий (фактические сведения о цунами, ущербе и жертвах, источники данных)
33	1927.IX.12, 14:23:52, западная часть Южного берега Крыма	44.3 ± 0.5; 34.3 ± 0.5	5.7 ± 1	6 (7)	1	>1 м/—	EM	3	Команда буксера «Грядя» почувствовала около Аю-Дага в 16 ч 15 мин толчки такой силы, что в машинном отделении трудно было устоять на ногах, паролод несло в это время в море [Никонов, 2002]
34	1927.IX.16, 08:21:58, западная часть Южного берега Крыма	44.50; 33.60	4.9	5	—	—/—	EM	3	Балаклава — вода отхлынула в бухте [Никонов, 1997]
35	1939.XII.26, 23:57:23, центральная часть северного побережья Турции	39.77; 39.58	8.0	11	1	≥2—3 м/50 м	EL	4	Длина участка турецкого берега, где фиксировалось цунами, 120 км. Вблизи г. Фатса море отошло на 50 м и затем возвратилось обратно на 20 м. В гавани г. Орду море, до того спокойное, затем отступило на 15 м и через 10—15 мин вернулось к нормальному положению [Altinok, Ersoy, 2000]. У г. Гиресун, в ~50 км восточнее г. Орду, море отступило на 50—60 м. Цунами фиксировались мареографами на северном берегу Черного моря [Григораш, Корнева, 1972]
36	1940.XI.10, 01:39:07, Румыния (зона Вранча)	45.71; 26.56	7.3	—	0	—/—	EL	1	Недостаточно подтвержденные сведения «о необычной волне в довоенное время, подошедшей валом к берегу и взбудоражившей горожан» на пляжах Одессы [Никонов, Флейфель, 2015]
37	1959 ± 5, с.-з. ЧМ (Одесса)	45.22; 36.72	н/о	н/о	0	>1 м/—	U	1	«Лет 50—60 назад тоже была такая волна» [Никонов, Флейфель, 2015]. Возможно, метеоцунами или от местного оползня
38	1959, IX-X, Керченский пролив	45.42; 36.77	»	»	0	≥0.5 м/>50 м	U	3	В 1959 г. на восточном берегу Керченского пролива под пос. Ильич при полном штиле вдруг по мелководью к берегу пошла волна, увеличиваясь в размерах и возвысившись до буруна, выплеснувшись на отлогий берег и разлилась по нему [Никонов, 2001]
39	1962 ± 1, июль—август, с.-в. ЧМ (пос. Гантиади)	43.37; 40.07	»	»	—	≥1 м/—	U	3	«Вдруг стала прибывать вода... довольно быстро. Примерно за 5—10 мин коса полностью погрузилась в воду... Через некоторое время вода стала уходить. Минут через 15—20 (после начала события) уровень моря восстановился» (Никонов, устное сообщение)
40	1966.VII.12, 18:53:11.8, с.-в. ЧМ (от Анапы до Ялты)	44.7 ± 0.2; 37.2 ± 0.2	5.3 ± 0.2	(7—8) ± ± 0.5	1	0.21 м/—	EM	4	В Черном море волны цунами, которые были отмечены мареографами в Геленджике, Туапсе, Ялте, Феодосии, Керчи и Жданове. Наиболее ярко выраженная запись была получена в Геленджике, здесь цунами начались с опускания уровня моря [Григораш, Корнева, 1969; Григораш, 1972]
41	1968.IX.03, 8:19:57.0, западная часть северного побережья Турции (Амасра)	41.85; 32.43	6.2	—	1	3 м/12—15 м	EM	4	В гавани г. Амасра вода сначала отошла на 1.5 м. Затем поднялась на 3 м, подошла к прибрежным домам, притавившись с собой суда к стоявшей у берега кофейне. В порту произошло опускание примерно на 25 см. Чакраз: море отступило на 12—15 м от береговой линии и впоследствии никогда не вернулось к ней [Paradopoulos et al., 2011; Altinok et al., 2011]

42	1969, Керченский пролив	45.42; 36.77	н/о	н/о	0	~1 м/—	U	3	Под пос. Ильич летом, когда было совсем тихо и без волнения на воде, сидевших на скамеечке и камушках у воды вдруг окатило по груди, вода зашла далеко по пляжу и потом спала. Явление оказалось неожиданным и непонятным [Никонов, 1999]
43	1970.XII.04, 01:59:25, с.-в. ЧМ (пос. Лео)	43.84±0.1; 39.34±0.1	5.1±0.3	(7—8)± ±0.5	1	0.45 м/—	EC/ LC	4	С 5 ч 20 мин до 9 ч 10 мин самописцы записали волны цунами с периодами 12—28 мин. Цунами началось с резкого понижения уровня (скорость волны около 3 км/мин, 50 м/с) [Шебакин и др., 1997]
44	1987, IX, с.-з. ЧМ (Одесса)	46.49; 30.72	н/о	н/о	0	<1 м/—	U	2	По воспоминаниям жителей в 2014 г. [Никонов, Флейфель, 2015]
45	1990.VIII.02, ю.-з. АМ	45.47; 36.11	»	»	1	0.4 м/—	U	3	Внезапное набегание волны на пляж между мысами Казантип и Зюк до высоты 0.4 м при совершенно спокойной погоде [Никонов, 1997]
46	1994±2, Керченский пролив (пос. Тамань)	45.22; 36.72	»	»	0	0.5 м/—	Vm	3	При безветрии и абсолютно гладкой поверхности моря с берега в пос. Тамань «вода в море встала ослепительной белой стеной, мелькнула вспышка огня, и мы услышали гул взрыва». ...к берегу устремилась перелетная волна. После этого к берегу подошли одна за другой две волны высотой 0.3—0.5 м [Никонов, 2001]
47	2000, с.-з. ЧМ (пос. Волна)	45.12; 36.70	»	»	0	–0.5 м/—	LM	3	При абсолютно тихой погоде и спокойном море между мысами Панатия и Железный Рог (Таманский полуостров) — внезапный уход воды от берега. Дно обнажилось... метров на 10, через некоторое время вода снова поднялась до обычного положения [Никонов, 2001]
48	2007.V.07, западное побережье ЧМ (Балчик, Каварна и др.)	43.10; 28.60	»	»	0	1.2 м/—	LM	4	Наблюдалось во многих местах побережья протяженностью до 150 км и в море на буровых платформах. Осцилляции продолжались до 5 ч [Rangiev et al., 2008]. Малые суда выброшены на берег, другие вращались в водоворотках. Слабые повреждения [Paraboroulos et al., 2011]
49	2014.VI.27, 10:37, с.-з. ЧМ (Одесса)	46.32; 30.67	»	»	1	2 м/—	LM	4	Две волны на участке берега от Черноморки до Ильичевска [Никонов, Флейфель, 2015]
50	2017.VII.19, АМ	49.6; 37.3	—	—	—	1.5 м/—	EM	4	Экстремальный стон воды. Колебания уровня моря достигали при этом 1.5 м! Затем через 30—40 мин море вернулось в свой берега [Рязанцев, Монин, 2017]

Примечание. M — магнитуа, I_{\max} — максимальная интенсивность сотрясений в эпицентральной области землетрясения по шкале MSK-64, I — интенсивность (по выявленному максимуму) цунами по шкале Соловьёва—Имамуры, H_{\max} — максимальная высота заплеска, D_{\max} — максимальная дальность заливания суши, CAU — тип источника цунами, V — балл достоверности. ЧМ — Черное море, АМ — Азовское море. Типы источников цунами: E — землетрясение, EM — землетрясение подводное, EL — землетрясение на суше, LC — оползень береговой, LM — оползень подводной, Vm — грязево-подводный, U — грязево-вулкан, U — неизвестный источник. Шкала достоверности события: $V = 4$ — достоверное цунами (вероятность около 100 %), $V = 3$ — вероятное цунами (вероятность порядка 75 %), $V = 2$ — возможное цунами (вероятность порядка 50 %), $V = 1$ — сомнительное цунами (вероятность менее 25 %). В столбцах M , I_{\max} , I , H_{\max} , D_{\max} — прочерк — отсутствие данных, н/о — невозможность определения данного параметра (например, магнитуды M и интенсивности I_{\max} для оползневых цунами).

массив и надвигания последнего на Черноморскую впадину, а по поперечным разломам — сбросы со сдвижением.

3. Крымская южнобережная зона, в основном на шельфе и на материковом склоне, общим протяжением ЗЮЗ-ВЗВ с поперечными и косыми к ней зонами. Кинематика взбросонадвиговая и поддвиговая, субмеридионально по главной зоне и сдвиго-сбросовая по поперечным разломам.

4. Серия крупных нарушений вдоль западного (Болгарского) и частью Румынского побережья и поперек к его простирацию с преобладанием сбросовых смещений.

Именно в этих зонах расположено большинство очагов выявленных исторических цунами Черноморского региона.

НОВАЯ ВЕРСИЯ КАТАЛОГА ЦУНАМИ ДЛЯ ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА

Новая версия каталога цунами для Черного и Азовского морей, подготовленная первым автором на основе многочисленных, вновь найденных и впервые вводимых в научный оборот исторических, археологических и геологических материалов по черноморским цунами, представлена в таблице. В ней по каждому событию приведены его основные параметрические данные (дата, время, положение, магнитуда и тип источника цунами, максимальные высоты и дальности заплеска), даны оценки интенсивности цунами и достоверности события в сопровождении кратких (по необходимости) комментариев, характеризующие особенности проявления данного цунами. В активе авторов имеются полные описания, цитаты, комментарии, наборы параметрических данных, а также библиография по каждому событию, которые планируется опубликовать в печатной версии полного описательного каталога черноморских цунами. По многим событиям каталога публиковались отдельные статьи [Никонов, 1986, 1994, 1995, 2001, 2012, 2016а, б, 2017а; Nikonov, 1989, 1991; Никонов, Никонова, 1990; Никонов, Флейфель, 2015].

В настоящей версии каталог включает 50 цунамигенных событий, 45 из которых возникли в Черном море и 5 в Азовском море. По сравнению с ранее опубликованными каталогами число выявленных и параметризованных цунами в бассейне возросло в 2.5 раза и несколько увеличился охваченный период.

Расположение очагов исторических цунами показано на рис. 2, из которого следует, что возникновение цунами возможно практически на всех участках побережья Черного моря, хотя и в неодинако-

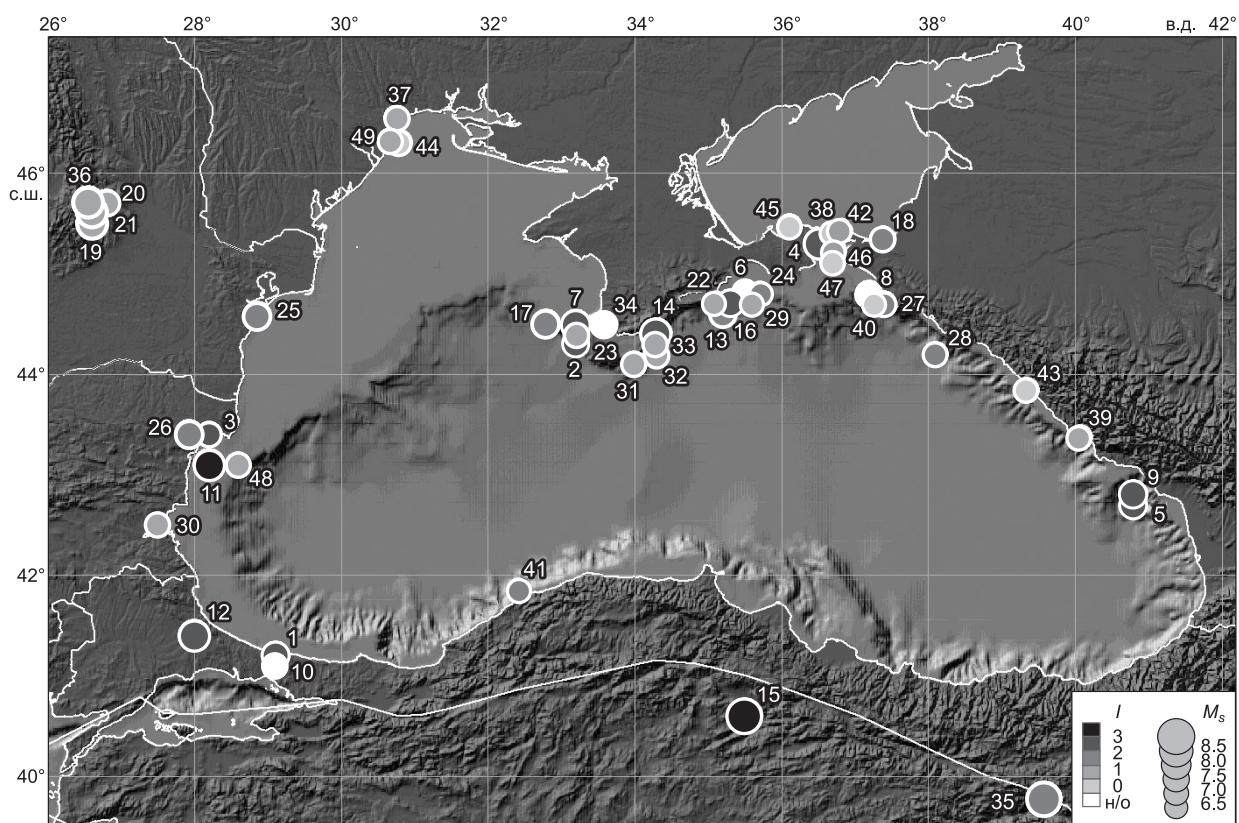


Рис. 2. Карта очагов цунамигенных событий в бассейне Черного и Азовского морей.

Размер кружков пропорционален магнитуде источника, плотность серого тона отражает интенсивность цунами по шкале Соловьева—Имамуры. Цифры у кружков соответствуют номеру события в таблице, н/о — невозможность определения.

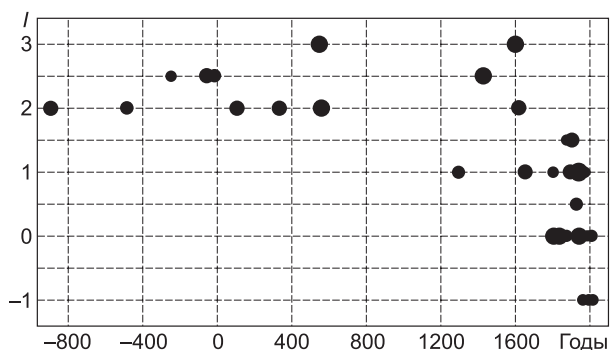


Рис. 3. Временное распределение событий черноморского каталога цунами.

По вертикальной оси отложена интенсивность цунами по шкале Соловьева—Имамуры. Размер кружков пропорционален магнитуде землетрясения (в соответствии с легендой рис. 2).

вой степени. Наибольшее число событий выявлено для Крымской и Анапской зон, что, несомненно, является следствием лучшей изученности и обеспеченности историческими данными. Со всего Кавказского побережья, несмотря на его высокую сейсмическую активность, до нас дошли только единичные сведения о проявлениях цунами. То же относится к протяженному северному побережью Турции. На западном побережье Черного моря явно выделяется район Варны-Бургаса, где имеются сведения о трех исторических и двух современных цунами. Что касается северо-западного побережья, то слабые цунамиподобные явления там отмечаются только с начала XIX в., причем часть из них связана с источниками, лежащими далеко за пределами акватории Черного моря, а именно с глубоководными землетрясениями зоны Вранча в Румынии.

Временное распределение событий крайне неоднородно (рис. 3). При общей длине каталога 2500—3000 лет его медианная дата, делящая число событий в каталоге пополам, лежит около 1875 г. Бросается в глаза значительный временной пробел в данных — отсутствие сведений даже о сильных цунамигенных событиях с VI по XII в. Данные о слабых цунами появляются в каталоге только с первой четверти XVIII в., когда на Черном море начинает создаваться система гидрометеорологических наблюдений для обеспечения нужд российского военно-морского флота [Ничик, 2009].

Другой вариант временного распределения событий каталога (в виде гистограммы числа событий по векам) показан на рис. 4, где представлено распределение числа выявленных в бассейне цунами по векам, согласно каталогу 1997 г. и по новой версии — 20 лет спустя. Нарастание числа цунами с XIII по XX в. (в XIX в. 7 событий, в XX в. 22 события) не следует считать показателем активизации и усиления опасности, ибо такая ситуация достаточно типична для многих других регионов и связана исключительно с ростом населения и уровнем хозяйственного освоения побережья, а также с началом инструментальной регистрации даже слабых цунами, остававшихся незамеченными прежде.

В Черноморском бассейне теперь выявлены почти все известные типы цунами, кроме собственно вулканических и метеоцунами, дополнительно фиксирован тип грязевулканических цунами. В общем числе событий преобладают цунами с сейсмогенными очагами (66 %), а среди опасных по последствиям они составляют до 90 %. Особого внимания требует учет возможности возникновения цунами за счет подводных оползней. К настоящему времени известны лишь единичные из них, но, скорее всего, это лишь следствие трудностей их фиксации в подводных условиях.

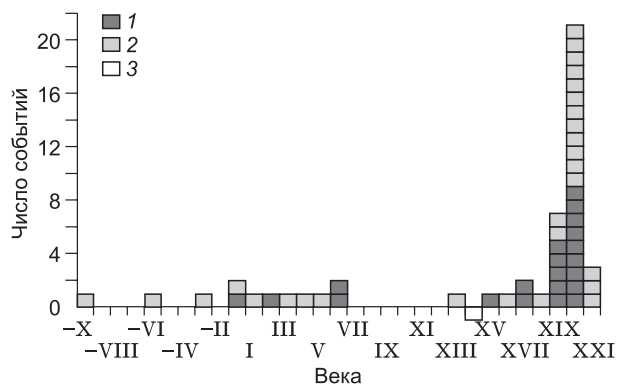
ОБ ОПАСНОСТИ ЦУНАМИ В ЧЕРНОМОРСКОМ БАССЕЙНЕ

При оценках цунамиопасности экспертным путем в таком внутреннем бассейне, каким является Черное море, целесообразно помимо собранных сведений о проявлениях исторических цунами использовать и другие данные. К последним относятся, в первую очередь, положение очагов (эпицентральных зон) известных за тысячелетия крупных ($M \geq 6$) землетрясений по всему обрамлению бассейна (на суше и в акватории), а также главнейшие, выявленные тем или иным способом, зоны и пояса активных разломов, продольных и поперечных, в прибрежной части, на шельфе и на материковом склоне, с учетом не только их пространственного распределения, но и кинематических особенностей каждого линеймента в общем поле напряжений и геодинамической системе всего региона (см. рис. 1).

Включение на основе углубленных поисков в новый черноморский каталог цунами даже несколь-

Рис. 4. Распределение выявленных событий цунами Черноморского бассейна по векам.

1 — события, входившие в прежний каталог [Никонов, 1997]; 2 — введенные в каталог в настоящей работе; 3 — исключенное из каталога как ошибочное событие.



ких событий античного времени и средневековья [Никонов, 2016а,б, 2017а; Nikonov, 1989, 1991] приобретает существенное значение при решении задачи цунамирайонирования, поскольку позволяет уточнить повторяемость сильных и сильнейших событий (сведения о которых только и доходят до нас из глубины веков), вносящих основной вклад в оценки цунамиопасности. До начала исследований по палеоцунами в регионе другого пути выделения столь древних событий просто не существовало.

Экспертные оценки повторяемости цунами в данной работе опираются на их важнейший параметр (интенсивность по шкале Соловьева—Имамуры), отражающий среднюю высоту заплеска (установленную по измерениям или выведенную по словесному описанию). По историческим описаниям, однако, чаще определяется максимальная высота волны. В этих случаях при оценке интенсивности принималась во внимание протяженность берега, охваченного цунами, которая обычно хорошо коррелируется с интенсивностью.

Среди выявленных и внесенных в новую версию каталога цунами, квалифицируемых как опасные, событий с интенсивностью $I \geq 2$ оказалось 16, из которых три или четыре определяются как наиболее сильные по разрушительным последствиям. Большая часть таких событий фиксировалась до нашей эры и в первые шесть столетий нашей эры. Три—четыре опасных события устанавливаются для последних шести столетий (в 1423, 1650, 1875, 1939 годах). Опасные цунами с $I \geq 2$ возникали на западных берегах Черного моря (Тендровская коса, Варненский залив), на восточном берегу (Сухумская бухта), на северных берегах (Южный берег Крыма, судакско-феодосийский берег), на юге (восток турецкого берега). Особого внимания заслуживает событие 1650 г., по которому собраны дополнительные данные (см. таблицу). По трем независимым источникам оно устанавливается на трех, удаленных друг от друга берегах, а именно в Севастопольской бухте вблизи эпицентра мощного землетрясения, $h \geq 3$ м, на Перекопском перешейке, в зал. Сиваш и прилегающей части Азовского моря, $h = 4—6$ м, и на северо-западном побережье Черного моря, $h \geq 5—6$ м, в широкой и протяженной полосе, где оно стало подлинным бедствием для населения.

В рамках собранных к настоящему времени, заведомо неполных, данных за 2.5—3.0 тыс. лет можно наметить экспертные оценки повторяемости цунами с $I = 2—3$: в среднем один раз в 300—800 лет на Ялтинском, Анапском, Сухумском участках; один раз в 1000—3000 лет на Севастопольском, Керченском участках, в прол. Босфор, у Тендровской косы, на болгарском берегу у Варны и на европейском берегу Турции. Явно недостаточно данных собрано по кавказскому побережью к югу от г. Геленджик, что, несомненно, является следствием слабой заселенности и освоенности кавказского побережья Черного моря с античных времен вплоть до середины XIX столетия. Если опираться только на выявленные, хотя и недостаточно параметризованные, данные о сильных землетрясениях в прилегающей части акватории Черного моря [Nikonov, 1989], то на побережье между городами Сочи и Сухуми цунами могли возникать не однажды за последнюю тысячу лет. А вблизи г. Сочи на участке Имеретинской изменности детальные геолого-геоморфологические материалы позволяют толковать их в пользу соотношения ряда особенностей с неоднократными местными сильными цунами, случавшимися здесь в течение последних 5 тыс. лет. Но пока эти материалы на необходимом уровне не проанализированы.

Сравнительно с Дальневосточным побережьем РФ, где опасные (с $I \geq 2$) цунами возникают в среднем раз в десятилетие [Гусяков, 2016], повторяемость таких событий в Черном море является существенно более низкой (1—2 события в столетие). Это, однако, не должно служить успокаивающим фактором, поскольку уровень риска на Черноморском побережье является существенно более высоким. Начало XXI в. дало примеры реализации цунамигенных событий с очень низкой повторяемостью, но с чрезвычайно тяжелыми последствиями. Это, в первую очередь, разрушительное Индонезийское цунами 26 декабря 2004 г., возникшее после мегаземлетрясения с $M_w = 9.1$ (ожидаемая по геологическим данным повторяемость 400—600 лет) и аналогичное ему по масштабам цунами Тохоку в Японии 11 марта 2011 г. (повторяемость 1000—1100 лет).

В рассматриваемом бассейне для отдельных населенных пунктов последствия цунами становились катастрофическими, когда они возникали вследствие сейсмотектонических локальных грабенов-провалов. Это особый подтип опасных цунами во внутренних морях [Никонов, 2017б], который проявлялся и в Черном море, например, на участке Сухумской бухты, и у Гераклеийского полуострова в Юго-Западном Крыму [Nikonov, 1989, 1991].

Наконец, существует опасность возникновения цунами не только напрямую от землетрясений, но и от инициированных ими подводных и береговых оползней и скальных обвалов на ряде участков побережья Черного моря, например, на северном берегу Варненского залива в Болгарии, местами и на Кавказском побережье, а также на Южном берегу Крыма, где идентифицированы крупные блоковые оползни с возрастом 3 тыс. лет [Никонов, 1981]. Согласно сейсмогеодинамической модели Крымского региона [Никонов, 2016в], ближайшие сильные сейсмические события на севере бассейна следует ожидать в Севастопольской и Керченской очаговых зонах, т. е. в стратегически важных районах.

В целом по результатам анализа нового расширенного каталога цунами потенциальная цунами-опасность, в частности, российской части Черноморского побережья устанавливается существенно более высокой, чем считалось раньше и как подразумевается до сих пор. С учетом высокой плотности населения, особенно в период курортного сезона, наличие службы оперативного предупреждения о цунами для побережья Крыма и Краснодарского края представляется необходимой мерой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новая попытка пополнения и усовершенствования каталога цунами в Азово-Черноморском бассейне привела к удвоению числа параметризованных цунамигенных событий, доведя его до 50 и увеличив временную протяженность каталога почти до 3 тыс. лет. Усовершенствованная версия каталога показывает, что Черноморский бассейн имеет длинную и насыщенную историю цунами, среди которых возникали и разрушительные события, приводившие к затоплению и гибели прибрежных городов и поселений, к большим материальным потерям и жертвам.

При составлении каталога обнаружено и использовано большое число новых, в том числе нетрадиционных источников первичных сведений о землетрясениях, цунами и цунамиподобных явлениях в бассейне Черного моря. Эти источники включали исторические документы, литературные произведения, фольклор, отчеты и записки путешественников, археологические и геологические материалы, ранее созданные каталоги, данные инструментальных наблюдений над сейсмичностью и уровнем моря. Для всех включенных в каталог событий определены (с разной степенью точности) даты возникновения, положение первичных очагов событий, а также типы источников цунами (согласно принятой классификации) (см. таблицу). Наиболее распространенным типом очагов цунамигенных событий становились сильные ($M = 6-7$) подводные и береговые землетрясения. На втором месте могли быть подводные оползни, частью также сейсмогенные, но по ним не удастся собрать представительного материала. Экспертная оценка интенсивности цунами по шкале Соловьева—Имамуры позволяет сравнивать события по их энергетическому масштабу и обеспечивает возможность включения данных в глобальную базу данных по цунами.

Анализ пространственного распределения выявленных событий показывает, что цунами могут возникать (с разной вероятностью и интенсивностью) практически на всех побережьях Черноморско-Азовского бассейна. Накопленные знания о геологической структуре, региональной геодинамике и истории сильных землетрясений за 2.5—3.0 тыс. лет дают основания соотносить очаги большинства сейсмогенных цунами с активными продольными и поперечными геолого-тектоническими разрывными структурами по периферии бассейна и с очагами в фундаменте на глубине более 15—18 км. Зафиксированы случаи цунами в связи с оползнями, а также возникавших при извержениях грязевых вулканов.

Особенностью региона является возможность возникновения цунами и цунамиподобных явлений от сейсмических очагов, значительно удаленных от акватории Черного моря. В первую очередь, это сильное ($M = 8$) землетрясение на Северо-Анатолийском разломе в 1939 г. с очагом на прилегающей суше, на удалении до 100—120 км от берега, при котором сильное у турецких берегов цунами распространилось в слабой степени до северных берегов бассейна. Необычным источником слабых водных возмущений в акватории Черного моря (главным образом в бухтах и заливах его северо-западной части) являются сильные глубокофокусные землетрясения в зоне Вранча.

При оценке средней частоты возникновения цунами в бассейне Черного моря следует иметь в виду значительную неоднородность полученного каталога по времени. Его общая продолжительность составляет 2500—3000 лет, однако медианная дата, делящая число обнаруженных событий пополам, проходит около 1875 г., когда начинают фиксироваться слабые события. Поэтому, если в отношении разрушительных и сильных цунами можно говорить о средней частоте их возникновения примерно 1—2 события в столетие, то слабые цунами в Черном море возникают в среднем раз в 4—5 лет.

Данные о жертвах цунами в Черном море ограничены и неконкретны. Можно говорить лишь о некоторых событиях (например, цунами 543, 557, 1443, 1650 годов), сопровождавшихся человеческими жертвами, иногда многочисленными. Документальных свидетельств о гибели людей от цунами на его побережьях в течение XX столетия не имеется. Однако поскольку большие участки побережья начали интенсивно осваиваться и развиваться лишь со второй половины XX в., уровень опасности цунами вырос неизмеримо относительно исторического времени. Многие участки побережья Черного моря, в том числе почти все Российское побережье, являются районами сплошной жилищной, курортной и индустриальной застройки, имеют оборонное и/или стратегическое назначение, из-за чего уровень цунами-риска увеличился и, безусловно, будет нарастать и впредь.

В отличие от Дальневосточного побережья РФ, «порог чувствительности» к воздействию волн цунами на берегах Черного моря значительно ниже. В пределах РФ для многих мест рекреационной активности даже 1-метровое цунами может стать опасным, а 3-метровое иметь катастрофические последствия (например, на Сочинском, Анапском, Керченском, Севастопольском побережьях).

Авторы признательны Т.В. Калашниковой за помощь в работе над рукописью, таблицами и графическими материалами. Благодарность выражаем и анонимным рецензентам за полезные рекомендации по совершенствованию рукописи.

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ 14-17-00219 (в основной своей части), РФФИ (грант 16-05-00450) (в части, касающейся оценки интенсивности черноморских цунами и конвертации каталога в базу данных) и частично гранта РФФИ (05-16-00727).

ЛИТЕРАТУРА

Амфитеатров А.В. Ветла. Собрание сочинений в 10 томах. Т. 3. М., НПК «ИНТЕЛВАК», 2001, с. 645—651.

Бюллетень Постоянной центральной сейсмической комиссии за 1905 год / Ред. Г.В. Левицкий. СПб., Типография Императорской академии наук, 1907.

Бюс Е.И. Сейсмические условия Закавказья. Тбилиси, Изд-во АН ГрузССР, 1948, ч. 1, 304 с.

Вернадский Г.В. Крым // Крымский архив, 1994, № 1, с. 28—46.

Горгиппия (материалы Анапской археологической экспедиции) / Ред. И.Т. Кругликова. Краснодар, Краснодар. кн. изд-во, 1980, 136 с.

Григораш З.К. Распространение цунами 1927 г. в Черном море // Труды Морского гидрофизического ин-та АН СССР. 1959, т. 18, с. 113—116.

Григораш З.К. Обзор удаленных мареограмм некоторых цунами в Черном море // Труды СахКНИИ ДВНЦ АН СССР. Южно-Сахалинск, СахКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1972, с. 271—278.

Григораш З.К., Корнева Л.А. Волны цунами, сопровождавшие Анапское землетрясение 12 июля 1966 г. // Океанология, 1969, т. 9, № 6, с. 988—995.

Григораш З.К., Корнева Л.А. Мареографические данные о цунами в Черном море при Турецком землетрясении в декабре 1939 г. // Океанология, 1972, т. 12, № 3, с. 417—422.

Гроздев Д. Экстремальни изменения на нивото на Черно море по българского черноморско крайбрежие // Българско геофизично списание, 1970, т. 1—3, № 9, с. 31—36.

Гусьяков В.К. Цунами на Дальневосточном побережье России: историческая перспектива и современная проблематика // Геология и геофизика, 2016, т. 57 (9), с. 1601—1615.

Двойченко П.А. Землетрясения 1927 г. в Крыму. Симферополь, Крымгосиздат, 1928а, 72 с.

Двойченко П.А. Черноморские землетрясения 1927 г. в Крыму // Природа, 1928б, № 6, с. 523—542.

Доценко С.Ф. Черноморские цунами // Физика атмосферы и океана, 1994, т. 30, вып. 4, с. 513—519.

Латышев В.В. Известия древних писателей о Скифии и Кавказе // Вестник древней истории, 1948, № 2, с. 215—314.

Легенды и предания Крыма. Симферополь, Реноме, 1998, 416 с.

Летопись Авраамки. Полное собрание русских летописей. Т. XVI. М., Языки русской культуры, 2000, 320 с.

Летопись византийца Феофана. М., 1890, 370 с.

Мелкие хроники XIII-XVIII вв. Т. 1. Ереван. 1951, 453 с. (на армянском языке).

Никонов А.А. Старые оползни Крыма // Природа, 1981, № 10, с. 119.

Никонов А.А. Землетрясения XVII в. в Восточном Крыму // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли, 1986, № 6, с. 79—83.

Никонов А.А. Сильные землетрясения и сейсмический потенциал Западно-Крымской (Севастопольской) очаговой области // Физика Земли, 1994, № 11, с. 20—31.

Никонов А.А. Неизвестное землетрясение в Крыму // Природа, 1995, № 8, с. 88—93.

Никонов А.А. Цунами на берегах Черного и Азовского морей // Физика Земли, 1997, № 1, с. 86—96.

Никонов А.А. Цунами на берегах Черного и Азовского морей — обобщение сведений и оценка опасности // Фундаментальные и прикладные проблемы мониторинга и прогноза стихийных бедствий. Стихия — 1999. Тезисы докладов Международного научно-технического семинара. Севастополь, СИ-НЭКО, 1999, с. 27.

Никонов А.А. Сейсмический потенциал Крымского региона: сравнение региональных карт и параметров выявленных событий // Физика Земли, 2000, № 7, с. 53—62.

Никонов А.А. Слабые цунами в Керченско-Таманской области во второй половине XX века // Фундаментальные и прикладные проблемы мониторинга и прогноза стихийных бедствий. Стихия-2001. Тезисы докладов Международного научно-технического семинара. Севастополь, СИ-НЭКО, 2001, с. 33—37.

Никонов А.А. Крымское землетрясение 1927 г.: неизвестные явления на море // Природа, 2002, № 9, с. 13—20.

- Никонов А.А.** Ялтинское разрушительное землетрясение XV века // *Природа*, 2012, № 11, с. 24—34.
- Никонов А.А.** Мощное цунами. В проливе... Керченском // *Природа*, 2016а, № 5, с. 29—38.
- Никонов А.А.** Мощное цунами. В проливе... Керченском // *Природа*, 2016б, № 7, с. 30—40.
- Никонов А.А.** Главные особенности геодинамики, напряженного состояния и распределения сильных землетрясений в Азово-Черноморском регионе // *Материалы Четвертой тектонофизической конференции*. Т. 1, М., ИФЗ РАН, 2016в, с. 493—501.
- Никонов А.А.** Аргонавты на пути в Понт: испытание цунами // *Природа*, 2017а, № 2, с. 38—45.
- Никонов А.А.** Сейсмотектонические грабены-провалы в Средиземноморских бассейнах как специфический феномен развития новейших внутриконтинентальных впадин // *Материалы XLIX тектонического совещания «Тектоника современных и древних океанов и их окраин»*. М., ГЕОС, 2017б, с. 39—42.
- Никонов А.А., Никонова К.И.** О сейсмической опасности дельты р. Дунай по данным об исторических землетрясениях // *Вопросы инженерной сейсмологии*, М., Наука, 1990, вып. 31, с. 126—134.
- Никонов А.А., Флейфель Л.Д.** Цунами в Одессе: природный или рукотворный феномен? // *Природа*, 2015, № 4, с. 36—43.
- Ничик Ю.М.** Гидрометеорологическая служба Черноморского флота. Приложение к сборнику «Записки по гидрографии» № 277. СПб., Изд-во ГУНиО МО РФ, 2009, 350 с.
- Новый** каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен / Под. ред. Н.В. Кондорской, Н.В. Шабалина. М., Наука, 1977, 536 с.
- Паллас П.С.** Поездка во внутренность Крыма вдоль Керченского полуострова и на остров Тамань (продолжение) // *Записки Императорского Одесского общества истории и древностей*. Одесса, 1883, т. 13, с. 35—107.
- Пассек Т.П.** Из дальних лет. Воспоминания. Т. 2, М., Госиздат, 1963, 791 с.
- Полумб А.** Очерк Крымских землетрясений. Симферополь, Госиздат Крымской АССР, 1933, 70 с.
- Рангелов Б., Спасов Е., Доцев Н.** Един модел за възникване на цунами от българските черноморски огнища и прогнозиране на възможни последици от тях // *Българско геофизично списание*, 1983, т. IX, № 4, с. 91—99.
- Родосский А.** Аргонавтика. Перевод и примечания Г.Ф. Церетели. Тбилиси, Мецниереба, 1964, 349 с.
- Рязанцев Г.Б., Монин В.Л.** Мини-цунами на Азовском море // *Система Планета Земля*. М., Изд-во Моск. ун-та, 2017, с. 86—89.
- Смирнов М.В.** Каталог землетрясений в Крыму. Симферополь, Изд-во «Издание Общества по изучению Крыма», 1931, 48 с.
- Соловьев С.Л.** Повторяемость землетрясений и цунами в Тихом океане // *Труды СахКНИИ, ДВНЦ АН СССР. Южно-Сахалинск, СахКНИИ ДВНЦ АН СССР*. 1972, вып. 29, с. 7—47.
- Соловьева О.Н., Кузин И.П.** Сейсмичность и цунами северо-восточной части Черного моря // *Океанология*, 2005, т. 45, № 6, с. 826—840.
- Соловьева О.Н., Доценко С.Ф., Кузин И.П., Левин Б.В.** Цунами в Черном море: исторические события, сейсмические источники и закономерности распространения // *Океанология*, 2004, т. 44, № 5, с. 679—685.
- Сумароков П.** Досуги крымского судьи или Второе путешествие в Тавриду. Ч. 1. СПб., Императорская типография, 1803, 276 с.
- Тацит К.** Сочинения в двух томах. Т. I. *Анналы*. Малые произведения. М., Науч.-изд. центр «Ладомир», 1993, 736 с.
- Федин К.** В Ялте 12 сентября. Писатели — Крыму // *Литературный альманах*, 1928, с. 157—166.
- Христосков Л., Тъепкова-Займова В.** Возможна цунамигенност на землетрясени огнища в нашето черноморско крайбрежие // *Българско геофизично списание*, 1979, т. V, № 4, с. 98—100.
- Шебалин Н.В., Добрыченко А.В., Зарайский М.П., Вандышева Н.В.** Сочинский рой землетрясений 1969—1971 гг. // *Сильные землетрясения*. М., Изд-во Акад. горных наук, 1997, с. 129—140.
- Шервашидзе Л.А.** Повесть о городе, взятом волнами. Сухуми, Алашара, 1967, 64 с.
- Altinok Y., Ersoy S.** Tsunamis observed on and near the Turkish coast // *Nat. Hazards*, 2000, № 12, p. 185—205.
- Altinok Y., Alpar B., Özer N., Aykurt H.** Revision of the tsunami catalogue affecting Turkish coasts and surrounding regions // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 2011, № 11, p. 273—291.
- Ambraseys N.N., Finkel C.F.** The seismicity of Turkey and adjacent areas. A historical review, 1500—1800, Istanbul, 1995, 240 p.
- Czelebi E.** Księga podróży Ewliji Czelebiego (Wybor). Warszawa, 1969, 476 p.

Draghizenu M. Les tremblements de terre de la Roumanie et des pays environnants. Bucarest, 1896, 84 p.
Ergin K., Guclu U., Uz Z. Türkiye ve Civarının Deprem Kataloğu, ITU, Maden Fak. Arz Fizigi Entistitüsü, Yayın, № 24, İstanbul, 1967, 169 p.

Gusiakov V.K. Tsunami history — recorded // The sea. V. 15. Tsunamis / Eds. A. Robinson, E. Bernard. Cambridge, USA, Harvard University Press, 2009, p. 23—53.

I terremoti prima del Mille in Italia e nell' area mediterranea / a cura di Emanuela Guidoboni. Storia. Archeologia. Sismologia / Ed. SGA Storia — Geofisica — Ambiente. Bologna, 1989, 765 p.

Maramai A., Brizuela B., Graziani L. The Euro-Mediterranean tsunami catalogue // Annals de Geophysics, 2014, v. 57, № 4, p. S0435-S0461, doi:10.4401/ag-6437.

NGDC/WDS GHTDB (Global Historical Tsunami Database), 2000BC to present, 2016, NOAA National Geophysical Data Center, Boulder, USA, 2016, http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml.

Nikonov A.A. Unknown catastrophic earthquakes on the Eastern Black Sea coast: an experience in archaeoseismic reconstructions // Proc. Symp. Europ. Seismol. Commiss. XXI General Assembly, Sofia, 1989, p. 101—111.

Nikonov A.A. Disappearance of ancient Dioscuria and Sebastopolis (Colchis, Black Sea Coast) as an engineering-geological and paleoseismological problem // Int. Interdisciplinary Meeting «Earthquakes in archaeological records: palaeoseismological and archaeological aspects», 1991, p. 30—32.

Papadopoulos G., Diakogianni G., Fokaefs A., Ranguelov B. Tsunami hazard in the Black Sea and the Azov Sea: a new tsunami catalogue // Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 2011, № 11, p. 945-963.

Ranguelov B., Tinti S., Pagnoni G., Tonini R., Zaniboni F., Armigliato A. The nonseismic tsunami observed in the Bulgarian Black Sea on 7 May 2007: Was it due to a submarine landslide? // Geophys. Res. Lett., 2008, v. 35, L18613, doi:10.1029/2008GL034905.

von Hoff K.E.A. Chronik der Erdbeben und Vulkan-Ausbrüche. Gotha, Justus Pethers, 1841, v. 2, 406 p.

Yalciner A., Pelinovsky E., Talipova T., Kurkin A., Kozelkov A., Zaitsev A. Tsunamis in the Black Sea: Comparison of the historical, instrumental, and numerical data // J. Geophys. Res., 2004, v. 109, p. C12023.

*Рекомендована к печати 4 июля 2017 г.
И.С. Новиковым*

*Поступила в редакцию 23 декабря 2016 г.,
после доработки — 15 июня 2017 г.*