

Российская академия наук

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Санкт-Петербургский научный центр Российской академии наук

Научный совет
по проблемам фундаментальной и прикладной гидрофизики



ГА-2016
~~~~~

ТРУДЫ XIII ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

**ПРИКЛАДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
ГИДРОАКУСТИКИ И ГИДРОФИЗИКИ**

Санкт-Петербург  
2016

УДК 681.88/89  
ББК 32.875  
Т 78

**Труды XIII Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики».** – Санкт-Петербург, 2016. – 516 с.

ISBN 978-5-00-105015-5

В сборнике трудов представлены доклады о достижениях отечественных и зарубежных ученых в области гидрофизики и гидроакустики. Особое внимание уделено результатам фундаментальных исследований и их внедрению при решении прикладных проблем, в том числе при разработке технологий мониторинга Мирового океана с целью исследования и освоения его ресурсов, предупреждения природных катастроф и чрезвычайных ситуаций, при изучении рельефа прибрежных акваторий и экономических зон, при обосновании методов и средств борьбы с подводным терроризмом и минной опасностью, при разработке датчиков и систем контроля и управления производственными процессами.

Для научных работников и инженеров, а также для широкого круга специалистов, интересующихся подводной акустикой и гидрофизикой.

Конференция проводилась в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Санкт-Петербургском научном центре Российской академии наук (СПбНЦ РАН) с 24 по 26 мая 2016 г.

#### **Организации-соучредители:**

Научный совет по проблемам фундаментальной и прикладной гидрофизики СПбНЦ РАН  
ОАО «Концерн «МПО - «Гидроприбор»      АО «Концерн «Океанприбор»

#### **Организационный комитет:**

##### **Председатель:**

д-р техн.наук А.А.Родионов  
(СПбНЦ РАН)

##### **Сопредседатель:**

канд.физ.-мат.наук С.А.Смирнов  
(АО «Концерн «Океанприбор»)

##### **Члены оргкомитета:**

канд.техн.наук Барбанель Б.А. (акад. РАЕН), д-р техн.наук Белов Б.П. (СПбГМТУ), Боровская А.В. (СПбНЦ РАН), д-р техн.наук Вергешев С.М. (ПГУ), канд.техн.наук Говорухин В.П. (СПБО СПП РАН), канд.техн.наук Гурьев А.В. (СПбФ ИО РАН), д-р техн.наук Гурьев Ю.В. (ВМИИ), д-р физ.-мат.наук Долин Л.С. (ИПФ РАН), д-р физ.-мат.наук Емельянов В.Н. (БГТУ «ВОЕНМЕХ» им.Д.Ф.Устинова), канд.техн.наук Зенченко С.С. (ФГУП «Крыловский научный центр»), канд.физ.-мат.наук Зимин А.В. (СПбФ ИО РАН), канд.биол.наук Иванов М.П. (СПбГУ), канд.техн.наук Каверинский А.Ю. (ФГУП ЦКБ МТ «Рубин»), Кедрова Е.В. (АО «Концерн «Океанприбор»), д-р техн.наук Максимов В.В. (АО «Концерн «Океанприбор»), д-р техн.наук Малый В.В. (СПИИ РАН), акад. Нигматулин Р.И. (ИО РАН), канд.техн.наук Погудин К.Г. (ОАО «Концерн «МПО - Гидроприбор»), Покровская Н.Е. (СПбФ ИО РАН), канд.техн.наук Попов В.А. (АО «Концерн «Океанприбор»), акад. Румянцев В.А. (ИНОЗ РАН), канд.техн.наук Селезнев И.А. (АО «Концерн «Океанприбор»), канд.физ.-мат.наук Смирнов С.А. (АО «Концерн «Океанприбор»), д-р воен.наук Трушенков В.В. (ОАО «Концерн «МПО - Гидроприбор»), Тукиянен А.Н. (ОАО «СПМБМ «Малахит»), чл.-кор. РАН Филатов Н.Н. (ИВПС КарНЦ РАН), канд.техн.наук Черницкий В.В. (СПбФ ИО РАН), д-р техн.наук Щеголихин В.П. (1 ЦНИИ МО), чл.-кор. РАН Якушенко Е.И. (ВМИИ)

#### **Авторы-составители:**

д-р техн.наук Б.П.Белов, д-р техн.наук А.А.Родионов,  
канд.физ.-мат.наук С.А.Смирнов, д-р физ.-мат.наук Ф.Ф.Легуша

#### **Рецензенты:**

д-р техн.наук Б.П.Белов, д-р техн.наук А.В.Богородский, канд.техн.наук С.Б.Егоров, канд.физ.-мат.наук А.В.Зимин, д-р техн.наук Ю.А.Коваленко, д-р физ.-мат.наук Ф.Ф.Легуша, канд.техн.наук Г.В.Лоскутова, канд.техн.наук Д.А.Никитин, д-р техн.наук Д.Б.Островский, д-р техн.наук А.А.Родионов, канд.физ.-мат.наук М.А.Родионов, канд.геогр.наук Д.А.Романенков, д-р физ.-мат.наук В.А.Рябченко, д-р техн.наук И.А.Селезнев

ISBN 978-5-00-105015-5

© Коллектив авторов, 2016

Полученные результаты явились основанием для формирования метрологических особенностей применения углового (надирного и наклонного) зондирования морской поверхности, особенно, для контроля волновых возмущений поверхности, используя, к примеру, диапазон 7-14 мкм и в качестве "интенсивной подсветки".

В этой ситуации возникает вопрос насколько реально можно получать конкретные параметры волнения поверхности и ее структуры в ИК-диапазоне. Возникла задача поиска методов для вариаций пространственного разрешения оптической системы при её заданных параметрах. Традиционные методы [4] связаны с дорогостоящей вариацией апертуры оптической системы на входе прибора путем использования различной по размерам оптики.

В работе рассмотрена возможность частотного синтезирования входного сигнала, что адекватно, в некоторой степени, изменению пространственного разрешения прибора. Применялись следующие полосы сигнала 0,14, 0,4, 1, 2,5 и 10 Гц. Угол визирования ИК-прибора составлял 65°, измерения проводились одновременно в диапазонах 7-14 и 3,5-5,2 мкм. Для создания повторяющихся параметров волнения применялся плавучий генератор ветрового волнения (размерами 5x5x5 м) в ООБ с параметрами скорости ветрового потока до 10 м/с и площадью равномерного обдува до 10 м<sup>2</sup>. Во время исследований стандартные параметры искусственного волнения характеризовались периодом 3 с и длиной волны 2-3 см, а при изменении параметры соответствовали генерации более крупного волнения с периодом 30 с. Анализ результатов измерений показал, что на самой большой частоте (10 Гц) прослеживается шумовая дорожка по обоим каналам, момент перестройки волнения не фиксируется. Определение корреляции между волнением и принимаемым сигналом может быть установлено только с применением дополнительной специальной обработки сигнала. Применение низкочастотного прерывания входного окна 0,14 Гц (при апертуре оптики 3°) обеспечивает наилучшую модуляцию сигнала в соответствии с параметрами волнения (периодичность изменения сигнала 30 с) для обоих спектральных диапазонов, но уровень сигнала в диапазоне 7-14 мкм выше, что подтверждает наличие эффекта "подсветки".

Таким образом, результаты исследований позволяют заявить о целесообразности применения метода угловых и мнوسпектральных измерений и вариаций параметров входного сигнала для обеспечения нового качества метрологических измерений температуры морской поверхности в ИК-диапазоне спектра.

#### Литература

1. Криксунов Л.З. Справочник по основам инфракрасной техники. М.: Советское радио, 1978.
2. Краус Е.В. Взаимодействие атмосферы и океана. Л.: Гидрометеиздат, 1976.
3. Sauaders P.M., Radiance of Sea and sky in the infrared window 800-1200cm<sup>-1</sup>. J. Opt. Soc. America, 58, №5, 1968.
4. Ефремов В.С. Многоспектральные оптические устройства, журнал ИНТЕРЭКСПО ГЕО-Сибирь, том 6, 2005.

#### КАРТИРОВАНИЕ ЦУНАМИОПАСНОСТИ НА МОРСКИХ ПОБЕРЕЖЬЯХ: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ К ПОБЕРЕЖЬЮ РОССИИ

В.К.Гусяков<sup>1,2</sup>, д-р физ-мат.наук, Л.Б.Чубаров<sup>2</sup>, д-р физ-мат.наук

<sup>1</sup>Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск, Россия

#### MAPPING OF TSUNAMI HAZARD ON MARINE COAST: MODERN APPROACH AND ITS APPLICATION TO THE COAST OF RUSSIA

V.K.Gusiakov<sup>1,2</sup>, Dr., L.B.Chubarov<sup>2</sup>, Dr.

<sup>1</sup>Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup>Institute of Computational Technologies SB RAS, Novosibirsk, Russia

*Излагаются современные подходы к оценке цунамиопасности морских побережий, основанные на вероятностном анализе имеющихся наблюдений и материалов модельных расчетов возбуждения и распространения цунами на участках с реальным рельефом дна. В основе таких подходов лежит использование синтетического расчетного каталога цунами, полученного для модельных землетрясений с механизмами и повторяемостями, характерными для конкретных цунамигенных зон, угрожающих данному побережью. Обсуждаются проблемы применения таких подходов к цунамирайонированию различных участков побережья России.*

*The report outlines current approaches to assessing the tsunami hazard on marine coasts, based on a probabilistic analysis of the available observations and modeling of tsunami generation and propagation in areas with a real topography. The basis of such approach is the use of synthetic calculated tsunami catalogue produced for the model earthquakes with source mechanisms and recurrence typical for particular tsunamigenic zones threatening this coast. The problems application of this approaches to tsunami zoning of different parts of the coast of Russia are discussed.*

В 2016 г. завершается работа над очередным вариантом карт общего сейсмического районирования (ОСР-2012/2014/2016) территории России [1]. Итоговый комплект карт показывает, что для всех периодов повторяемости наибольший уровень сейсмической опасности на территории РФ существует в Дальневосточном регионе, в котором в силу его сеймотектонических особенностей большинство землетрясений являются подводными. К сожалению, при выполнении этого проекта такая вторичная опасность землетрясений как цунами не была принята во внимание, хотя она является основной для сильнейших на территории России сейсмических событий, которые происходят в Курило-Камчатском регионе и имеют магнитуды вплоть до 9.0). При таких землетрясениях волны цунами являются главным поражающим фактором и ответственны за значительную долю жертв и материального ущерба. Это с особой очевидностью было продемонстрировано разрушительными цунами последнего десятилетия в Индонезии в 2004 г. и в Японии в 2011 г.

Очевидно, что такое положение должно быть срочно исправлено путем создания обзорной карты цунамиопасности морских побережий России, которая картировала бы уровень цунамиопасности на всем побережье РФ. Такая карта будет служить инструментом стратегического планирования при освоении прибрежных территорий, ее наличие позволит количественно сравнивать уровни цунамиопасности различных побережий, она также будет служить основой для создания детальных карт заливания для отдельных береговых пунктов. В свою очередь, такие карты должны служить основой для нормативного регулирования строительства в цунамиопасных зонах. В настоящее время единственным нормативным документом является Постановление Совета Министров РСФСР № 19 от 08.01.1964 г., которое запрещает строительное освоение цунамиопасных районов. Однако такое освоение интенсивно проводится во многих потенциально цунамиопасных местах, в частности, при промышленной разработке шельфовых месторождений нефти и газа на Сахалине и в других районах. Карты цунамиопасности будут также необходимым элементом, который требуется при планируемом переходе от осуществляемого сейчас прогноза по бинарной схеме (угроза цунами/нет угрозы цунами) к количественной оценке высот в конкретных защищаемых пунктах, возможность которого существует в модернизированной в 2010-2015 гг. Службе предупреждения о цунами (СПЦ) на Дальневосточном побережье РФ. Для практической реализации таких прогнозов, осуществляемой территориальными подразделениями МЧС и местными администрациями, необходимо иметь оценки цунамиопасности для угрожаемых участков побережья и береговых населенных пунктов в виде карт заливания прибрежной территории при цунами различной интенсивности и повторяемости.

Предварительное цунамирайонирование побережья - это получение и картирование долговременных оценок максимальных ожидаемых высот цунами на участках побережья и их обеспеченности (повторяемости). Долговременные оценки опасности цунами необходимы для (1) обеспечения безопасной и рациональной жизнедеятельности на угрожаемой территории; (2) перспективного планирования ее развития; (3) выполнения оперативных мероприятий по защите населения при угрозе цунами (выбор безопасных убежищ и маршрутов эвакуации).

Задача оценки долгосрочной цунамиопасности является во многом аналогичной задаче оценки сейсмоопасности. Последняя во всех странах решается сейчас на основе методики PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Assessment) [2], положенной также в основу проекта создания карты общего сейсмического районирования территории России ОСР-2016. Несмотря на то, что при выполнении этого проекта опасность цунами не принималась во внимание, результаты большой работы, выполненной в рамках проекта ОСР-2016 по уточнению каталогов исторических землетрясений, изучению строения их очагов, картированию зон возникновения землетрясений (зон ВОЗ) в цунамиопасных районах могут и должны быть использованы для оценки цунамиопасности побережья России.

Работы по цунамирайонированию российского побережья начались достаточно давно, в 1960-х годах прошлого века. Всю совокупность выполненных работ можно разделить на две примерно равные группы, соответствующие двум различным подходам к проблеме цунамирайонирования, которые могут быть названы историко-вероятностным и детерминированным. В СССР исторически первым начал применяться детерминированный (сценарный) подход, в рамках которого еще в середине 1960-х годов прошлого века были получены первые оценки возможных высот цунами на Дальневосточном побережье [3, 4]. В основе этого метода лежит применение численных моделей возбуждения и распространения цунами для одного или нескольких гипотетических источников, представляющих очаги цунамигенных землетрясений. Важным преимуществом этого подхода является возможность его применения для любых участков побережья, вне зависимости от степени полноты и качества имеющихся для него исторических наблюдений. Основной проблемой является правильный выбор проектируемого события (designsource) и оценка соответствующих ему периодов повторяемости. При сценарном подходе обоснованность полученных расчетных высот в сильной степени зависит от обоснованности экспертных суждений, лежащих в основе задания параметров гипотетических источников.

Второй (историко-вероятностный) подход базируется на обработке имеющихся исторических данных о проявлениях всех цунами (включая слабые) на исследуемом участке побережья с целью нахождения закона повторяемости высот в данном пункте и определения на этой основе вероятности превышения некоторой заданной высоты в будущем. Этот подход не требует знаний

сейсмоструктурных механизмов, лежащих в основе возбуждения цунами, рассматривая наблюдаемые высоты просто как поток случайных событий, удовлетворяющий некоторым гипотезам об их статистических свойствах. В отечественной литературе это направление представлено, в основном, работами дальневосточной группы сейсмологов и специалистов по цунами [5, 6]. Основной проблемой при использовании этого подхода является отсутствие для многих мест достаточно длинных рядов наблюдений высот, в результате чего эмпирический график повторяемости, обрывающийся в области значений 30-50 лет, приходится экстраполировать в область требуемых периодов повторяемости 200, 500 и даже 1000 лет.

В настоящее время существует современная, достаточно детально разработанная методика РТНА (Probabilistic Tsunami Hazard Assessment), в какой-то мере комбинирующая оба этих подхода [7]. Она широко используется в таких странах как США, Канада, Австралия, Новая Зеландия, в западной Европе и других регионах. На ее основе выполняется как обзорное цунамирайонирование побережья целых стран, так и рассчитываются детальные карты заливания для отдельных портов и гаваней. При всех известных недостатках этой методики, как принципиальных, так и технологических, она после необходимой адаптации может быть использована при создании карты цунамиопасности побережья России.

В основе методики РТНА лежит построение вероятностной сейсмоструктурной модели основных цунамигенных зон, угрожающих защищаемому побережью и применение численных моделей возбуждения и распространения цунами для расчета ожидаемых высот цунами в конкретных пунктах побережья. Поскольку изменчивость высот волн цунами вдоль берега является достаточно сильной, особенно для сложных изрезанных побережий рифсового типа, карты цунамиопасности, пригодные для практического использования должны строиться в достаточно крупных масштабах (1:10,000 - 1:100,000). Как следствие, покрываемые ими территории будут ограниченными (1-10 км). Однако для сравнения различных побережий по уровню цунамиопасности необходимо наличие обзорных карт цунамирайонирования, построенных в масштабах порядка 1:4,000,000 - 1:8,000,000. Помимо того, что обзорная карта позволяет сравнивать различные участки побережья по уровню угрозы цунами, она также служит основой для построения карт детального цунамирайонирования, поскольку при ее построении должен быть выполнен основной объем работы по делинеации и изучению строения основных цунамигенных зон.

При создании сейсмоструктурной модели цунамигенной зоны важнейшую роль играет реалистичная оценка предельной магнитуды и повторяемости максимального ожидаемого землетрясения (возможно, отсутствующего в историческом каталоге данной зоны), поскольку именно такие события определяют предельные заплески на ближайшем побережье. В последних работах по оценке цунамиопасности с использованием методики РТНА учитывается возможность возникновения мега-землетрясений [8], но только по тем зонам, где они уже происходили в прошлом. Возможность же возникновения такого землетрясения на любом (в том числе ближайшем к рассматриваемому участку побережья) сегменте субдукционной зоны часто игнорируется. Такой подход в значительной степени обесценивает полученные карты цунамиопасности, поскольку исключение из рассмотрения сильнейшего события приводит к существенной недооценке ожидаемых высот цунами.

Средний период повторяемости мега-землетрясений в одной субдукционной зоне Тихоокеанского сейсмического пояса составляет порядка 600-800 лет [9]. Фактический интервал времени между двумя последовательными мега-событиями изменяется в весьма широких пределах – для уже известных исторических событий от 215 лет (Камчатка 17.10.1737 и 4.11.1952), до 1142 лет (Тохоку 13.07.869 и 11.03.2011). Более точная и реалистичная оценка ожидаемого периода повторяемости предельных высот является достаточно проблематичной в связи с недостаточной длиной исторических каталогов цунами в большинстве цунамигенных регионах Мирового океана. Помочь здесь могут только геологические методы поиска и трассирования следов палеоцунами, сохраняющихся в береговых осадочных толщах [10].

Главная проблема оценки цунамиопасности конкретного участка океанического побережья, имеющего перед собой зону субдукции, состоит в получении реалистичных оценок места и времени возникновения в ближайших сегментах этой зоны мега-землетрясения с магнитудой 9.0 и выше. Получение таких оценок представляет собой сложную научно-практическую проблему и фактически сводится к решению задачи долгосрочного прогноза сильнейших землетрясений. Карты цунамиопасности любого масштаба, построенные без учета возможности и вероятности возникновения мега-землетрясений, будут значительно недооценивать реальную опасность цунами и приводить к неверным инженерным решениям по застройке прибрежной полосы.

*Работа выполняется при поддержке проекта РНФ14-17-00219 (в части развития методологии цунамирайонирования) и РФФИ 16-05-00450 (в части, касающейся поддержки баз данных по наблюдениям цунами в Дальневосточном регионе РФ).*

#### Литература

1. Уломов В.И. К вопросу о стандартизации норм и правил сейсмического районирования для сейсмостойкого строительства в Российской Федерации // Инженерные изыскания, 10-11, 2015. С. 6-17.
2. Giardini D., Grunthal G., Shedlock K.M., Zhang P. The GSHAP Global Seismic Hazard Map // Annali di Geofisica, 1999, V. 42 (6), P.1225–1228.

3. Атлас максимальных заплесков цунами. Отв.ред. С.Л.Соловьев, Владивосток: МГИ АН УССР, ДВНИГМИ, 1978, 61 с.
4. Иконникова Л.Н. Опыт расчета элементов волн цунами // Тр. Центрального института прогнозов, М.: Гидрометеоздат, 1965, вып.142.
5. Го Ч.Н., Кайстренко В.М., Симонов К.В. О возможности локального долгосрочного прогноза цунами // Оперативный и долгосрочный прогноз цунами, Владивосток: ДВО АН СССР, 1983, С.150-162.
6. Kaistrenko V. Tsunami recurrence versus tsunami height distribution along the coast // Pure App. Geoph., 2011, V.168, No.11, P.2065-2069.
7. Gonzalez F., Geist E., Jaffe B. et al. Probabilistic tsunami hazard assessment at Seaside, Oregon, for near- and far-field sources // J. Geophys. Res., 2009, V. 114, C11023, doi: 10.1029/2008JC005132.
8. Leonard L., Roger G., Mazotti S. Tsunami hazard assessment of Canada // Nat. Hazards. 2013, doi: 10.1007/s11069-013-0809-5.
9. Atwater B.F., Nelson A.R., Clague J.J. et al. Summary of coastal geologic evidence about past great earthquakes at the Cascadia subduction zone // Earthquake Spectra, 1995, V. 11, No.1, P.1-18.
10. Пинегина Т.К., Разжигаева Н.Г. Исследования палеоцунами на дальневосточном побережье России // Мировой океан. Том I. Геология и тектоника океана. Катастрофические явления в океане. М.: Научный мир, 2013. С. 488-498.

### ЦУНАМИ В ЧЕРНОМ МОРЕ: РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

С.А.Бейзель, канд. физ.-мат. наук, В.К.Гусяков, д-р физ.-мат. наук, Л.Б.Чубаров, д-р физ.-мат. наук  
Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск, Россия

### TSUNAMI IN THE BLACK SEA: RESULTS OF NUMERICAL MODELING

S.A.Beisel, Ph.D., V.K.Gusakov, Dr., L.B.Chubarov, Dr.  
Institute of Computational Technologies SB RAS, Novosibirsk, Russia

*В докладе представлены результаты анализа цунамиопасности российского побережья Черного моря, полученные с использованием системы модельных очагов цунамигенных землетрясений. Для определения очаговых зон Черного моря, создающих наибольшую угрозу для побережья Крыма и Краснодарского края, построена система из 144 модельных очагов, состоящая из трех параллельных цепочек, протягивающихся вдоль всего шельфа. Анализ интегральной энергетической характеристики показал, что для каждого участка российского побережья, помимо очагов, расположенных в непосредственной близости от него, существуют зоны на противоположном побережье, создающие сопоставимую угрозу цунами.*

*The report presents an analysis of the tsunami danger of the Russian Black Sea coast, obtained with the use of model sources of tsunamigenic earthquakes. To determine the focal areas of the Black Sea, creating the greatest threat to the coast of the Crimea and the Krasnodar Territory, the system of 144 model sources was built, consisting of three parallel chains, stretched along the shelf. Analysis of the integral energy characteristic of the action of different tsunamigenic earthquakes origins showed that for each parts of the Russian coast, in addition to the sources, located in the immediate vicinity, there are zones on the opposite southern coast creating a comparable level of threat to the tsunami.*

Рассмотренные авторами сценарии генерации и трансформации волн цунами основаны на системе модельных очагов, расположенных вдоль шельфа Черного моря и построенных с использованием исторического каталога черноморских цунами, созданного А.А.Никоновым [1] и расширенного им же в 2015 году более чем на треть. В настоящее время этот каталог покрывает период времени от 485 года до н.э по 2014 год и содержит 35 исторических событий, вызвавших цунами различной интенсивности. Среди них было несколько катастрофических событий (543, 1341, 1423), затронувших в той или иной мере весь бассейн. Наряду с классическими сейсмогенными цунами, возникающими в очаговой области сильного подводного землетрясения вследствие косейсмических смещений дна и/или динамического воздействия сейсмических волн на водную толщу, здесь известно много случаев цунами метеорологического, а также обвального и оползневого происхождения, причем последние могут не иметь прямой связи с сейсмической активностью. Анализ географического распределения очагов черноморских цунами показывает, что они могут возникать практически по всей периферии моря.

**Землетрясения и цунами в акватории Черного моря.** Сейсмическая активность в районе Черного моря фиксируется практически во всех частях шельфа и его подножья. За период инструментальных наблюдений (1900-2014) в пределах акватории здесь произошло 46 землетрясений с магнитудой  $M_w \geq 5$ . Из них 18 имели  $M_w \geq 5.5$ , 7 –  $M_w \geq 6.0$ , 3 –  $M_w \geq 6.5$ , 1 –  $M_w \geq 7$ . По-видимому, сильнейшее за время инструментальных наблюдений землетрясение в акватории Черного моря произошло в 1901 г. вблизи мыса Калиакра (Болгария) и имело магнитуду 7.2. В последующие более чем 100 лет сейсмичность этой области не выделялась повышенной активностью по сравнению с другими районами акватории. В пределах центральной части глубоководной котловины Черного моря также происходят отдельные землетрясения, однако сейсмическая активность котловины моря существенно ниже, сильнейшие зафиксированные события не достигают  $M_w = 5.0$ . Принимая во внимание относительно ровный рельеф дна котловины, можно заключить, что вероятность сильного цунамигенного события здесь минимальна. Следует, однако, подчеркнуть, что длительность инструментального каталога и представительность