



Большая волна. Цунами. Художник Кацусика Хокусай. 1823–1831

УДК 550.344.42



Сывороткин В.Л.

Цунами

Сывороткин Владимир Леонидович, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник кафедры петрологии геологического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова
E-mail: hlozon@mail.ru

Представлен краткий обзор современных представлений о природе, мерах защиты и способах предсказания катастрофического явления цунами.

Ключевые слова: цунами, землетрясение, магнитуда, вулканическое извержение, обвалы.

11 марта 2011 г. в Тихом океане в 70 км от северо-восточного побережья японского острова Хонсю произошло землетрясение магнитудой 9,0–9,1. Гипоцентр его находился на глубине 32 км ниже уровня океана. Оно стало сильнейшим в истории Японии и получило название «Великое восточнояпонское землетрясение». О его природе мы писали в предыдущем номере журнала¹.

Цунами, порожденное землетрясением, вызвало многочисленные человеческие жертвы, нанесло огромный материальный ущерб (более 300 млрд. долларов) и стало причиной техногенной катастрофы – не ликвидированной до сих пор аварии на атомной станции Фукусима-1. Высота волны цунами достигла на полуострове Омоэ вблизи г. Мияко в префектуре Ивате 40,4 м над уровнем моря. Данный уровень является самым высоким за всю историю наблюдений и превзошел рекорд (38,2 м) мощного цунами в 1896 г. у г. Офунато в этой же префектуре. На побережье префектуры Фукусима, где находится АЭС «Фуку-

¹ Сывороткин В.Л. Землетрясения // Пространство и Время. 2011. № 2(4). С. 124–137.

сима-1», волна цунами превышала десять метров. В целом из-за стихийного бедствия 11 марта в Японии погибли свыше 15570 человек, большинство из них стали жертвами ударов цунами. Более 5070 местных жителей до сих пор считаются пропавшими без вести. Было разрушено более 151 тысячи строений¹.

26 декабря 2004 г. произошло цунами, ставшее самым смертоносным стихийным бедствием в современной истории. Его вызвало подводное землетрясение, магнитуда которого оценивается от 9,1 до 9,3. Эпицентр землетрясения находился в Индийском океане, к северу от острова Сумбурау, возле северо-западного берега острова Суматры (Индонезия). Это второе или третье по силе землетрясение за всю историю наблюдения. Цунами достигло берегов Индонезии, Шри-Ланки, юга Индии, Таиланда и других стран. Высота волн превышала 15 метров. Цунами привело к огромным разрушениям и огромному количеству погибших людей, даже в Порт-Элизабет, в ЮАР, в 6900 км от эпицентра: всего, по разным оценкам, погибло от 225 тысяч до 300 тысяч человек. По данным Геологической службы США (USGS), число погибших составило 227 898, истинное же их число вряд ли когда-либо станет известно, так как множество людей было унесено водой в море².

О масштабах бедствия свидетельствует Майк Гриффитс, эколог, живущий на Суматре: «Глядя еще из иллюминатора самолета, я был поражен. Я не мог себе представить, что разрушения могут быть такими. Я не мог поверить, что волна цунами может зайти так далеко в глубь острова. Цунами уничтожило все, что находилось в пределах километра-двух от берега. Вы не представляете, каким прекрасным было это место раньше. Настоящий рай. Земля, рисовые поля, кокосовые рощи, выходящие прямо к океану. Была прекрасная инфраструктура – дороги, мосты. Большинство людей в этих районах жили недалеко от берега моря – они были рыбаки или возделывали рис. Их больше нет. На западном побережье было пять или шесть городов с населением минимум 10 тысяч человек в каждом. Эти города просто сметены. И так на протяжении 200 километров береговой линии. Там не осталось ни одного здания, никаких домов, никаких поселений. А ведь это чаще всего были не просто живописные деревушки с милыми домиками с черепичной крышей. Тут были надежные дома, постройки из бетона. Они стерты с лица земли. Только фундаменты, а иногда и фундаментов не осталось»³.

Цунами меньшей силы в последние годы неоднократно обрушивались на океанские острова и побережья. Так, 2 апреля 2007 г. цунами высотой от 5 до 10 м смыло две прибрежные деревни и затопило относительно крупные города Таро и Гизо на Соломоновых островах. Причиной цунами стал подземный толчок магнитудой 7,8. Очаг землетрясения находился на глубине 10 км примерно в 300 км к востоку от Соломоновых островов⁴.

Японское слово «цунами», означающее в переводе «*большая волна в гавани*», исчерпывающе объясняет суть явления. Определение, данное в Большой советской энциклопедии – *морские гравитационные волны очень большой длины, возникающие в результате сдвига вверх или вниз протяжённых участков дна при сильных подводных и прибрежных землетрясениях и, изредка, вследствие вулканических извержений и др. тектонических процессов*⁵, – заметно сужает круг явлений.

Американский исследователь Вильям Ван Дорн (William Van Dorn) в 1968 г. дал более общее определение термина: *цунами – это японское название системы гравитационных волн, возникающих в море вследствие крупномасштабных возмущений свободной поверхности*⁶.

По характеру изначальной причины возникновения волны различают сейсмические, вулканические, гравитационные, техногенные, а также метеорологические цунами.

Сейсмические цунами (составляют до 85% от общего числа). Возникают при резкой подвижке блоков коры при сейсмических ударах на дне акваторий. Возмущается огромная масса воды. Возникает обычно от 3 до 9 волн. Их характерная длительность 10–100 мин; длина 10–1000 км; скорость перемещения достигает 900–1000 км/час, т.е. сопоставима со скоростью современного реактивного авиалайнера. При этом высота волны в открытом океане невелика и особой угрозы не представляет. Преобразование волны начинается у береговой отмели на глубинах менее 200 м. В прибрежном мелководье (10–15 м) начинается интенсивная деформация волны – растет высота (до 40–70 м) и крутизна переднего фронта. В результате на берег выносятся бурлящая стена воды, сметающая все на своем пути. Особенно далеко (до нескольких километров) волна цунами может проникать вглубь побережья по долинам рек⁷.

Причиной преобразования волны цунами (роста ее высоты) являются также открытые заливы и узкие проливы. Огромная масса воды накатившей волны цунами, не вмещающаяся в узких берегах, выплескивается на берега. Такова причина трагического цунами 1952 г. в г. Северо-Курильске, который расположен на берегу узкого Второго Курильского пролива, разделяющего острова Парамушир и Шумшу.

Дальность пробега волн цунами огромна, зародившись в Тихом океане, они способны его пересечь, пройти Индийский океан и достичь Атлантического. Волны могут пройти весь Тихий океан и, отразив-

¹ Высота цунами в Японии превысила 40 метров // Географический портал. 2011. 17 июля. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://geo-site.ru/index.php?option=com>.

² Землетрясение в Индийском океане в 2004 году // Википедия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Землетрясение_в_Индийском_океане

³ Необъявленная волна // Коммерсантъ Власть. 2005. 17 янв. № 2 (605). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.kommersant.ru/Doc-rss/538938>

⁴ Цунами затопило города // Взгляд. 2007. 2 апр. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://vz.ru/society/2007/4/2/75376.html>

⁵ Цунами // БСЭ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://slovari.yandex.ru>

⁶ Van Dorn W.G. Tsunamis // Contemp. Phys. 1968. N 9. P. 145–164.

⁷ Злобин Т.К. Геодинамические процессы и природные катастрофы: учебное пособие. Южно-Сахалинск: Сах.ГУ, 2010. 228 с.; Трухин В.И., Показеев К.В., Куницын В.Е. Общая и экологическая геофизика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 576 с.

шишь от противоположного берега, двинуться в обратном направлении. Так, волны, возникшие при землетрясении на восточном побережье о. Хонсю (Япония) в 1986 г., обрушились на Гавайские острова в центре Тихого океана, достигли американского побережья и, отразившись от него, направились к Новой Зеландии и Австралии. Волны цунами 26.12.04 через 7 часов после землетрясения атаковали побережье Сомали, а через 16 часов они были зафиксированы на расстоянии 8500 км в ЮАР. Высота приливной волны при этом составила 1,5 м. В Тихом океане образовались небольшие (20–40 см) цунами вдоль западных побережий Северной и Южной Америк. В Мексике была отмечена высота волны в 2,6 м¹.

Цунами, рожденное Великим восточнояпонским землетрясением 11.03.11, обрушилось на Гавайские острова волной высотой около 1 м. Постройки на берегу не пострадали, но было уничтожено около 200 катеров на причалах. В Калифорнии высота волн была 2 м. Пострадали маломерные суда и береговые сооружения. Погиб 1 человек. Первые волны от цунами достигли американского материка вдоль побережья Северной Калифорнии и штата Орегон. В частности, на северокалифорнийский город Кресент-Сити обрушились волны высотой в 2 м. От них пострадали лодки и портовые доки. Погиб один человек. На Галапагосских островах волна цунами затопила Сан-Кристоваль. В Мексике высота волн составила 70 см. В Перу в городе Пуэбло Нуэво-де-Колан океан отступил от пляжа на 200 метров, а затем вернулся и с силой разрушил несколько домов на берегу. В порту Писко океан дошел до городской площади и повредил около 300 домов. На Чилийском побережье были повреждены коттеджи, цунами унесло в океан небольшие катера. Цунами породило накат волн на дальнем чилийском острове Пасхи².

Для классификации цунами академик С.Л. Соловьев на основе анализа исторических цунами предложил полуколичественную шкалу, в основе которой лежит высота подъема уровня воды³.

Катастрофические цунами (интенсивность 4). Средний подъем уровня на участке берега длиной 400 км (и более) достигает 8 м. Волны местами имеют высоту 20–30 м. Происходит разрушение всех сооружений на берегу. Такие цунами происходят по всему побережью Тихого океана.

Очень сильные цунами (интенсивность 3). На берегу протяженностью 200–400 км вода поднимается на 4–8 м, местами до 11 м. Такие цунами наблюдаются на большей части Мирового океана.

Сильные цунами (интенсивность 2). На берегу длиной 80–200 км средний подъем уровня воды составляет 2–4 м, местами 3–6 м.

Умеренные цунами (интенсивность 1). На участке 70–80 км подъем воды 1–2 м.

Слабые цунами (интенсивность 0). Подъем уровня меньше 1 м.

Чем сильнее цунами, тем реже они происходят. Цунами интенсивностью 4 происходят 1 раз в 10 лет, интенсивностью 3 – один раз в 3 года, интенсивностью 2 – 1 раз в 2 года, интенсивностью 1 – 1 раз в год, интенсивностью 0 – 4 раза в год.

Около 75% цунами происходят в Тихом океане. 9% – в Атлантическом. В Индийском – 3%. В Средиземном море 12%. На остальных моря приходится около 1%.

До Индонезийского цунами в декабре 2004 г. список зафиксированных за последние триста лет наиболее крупных цунами выглядел следующим образом⁴:

1737 г. Камчатка, Курилы, Сахалин. Высота волны свыше 20 м. Сотни погибших.

1755 г. Лиссабон. Высота волны 15 м. Жертвы (с землетрясением) 60–70 тысяч.

1872 г. Бенгальский залив. Высота волны 20 м. 20 тысяч погибших.

1883 г. Кракатау. Высота волны 35–40 м. Жертвы – 36 тысяч человек.

1896 г. Санрику, Япония. Высота волны 15 м. Жертвы более 27 тысяч.

1908 г. Сицилия. Высота волны 10 м. Погибли в цунами и землетрясении 80 тысяч человек.

1933 г. Япония. Волна – 28 м. Число жертв – 3000.

1937 г. Чанрику, Япония. Высота волны 8 м. Погибло около 3 тысяч человек.

1944 г. Ронанкай, Япония. Высота волн более 10 м. Погибло около тысячи человек.

1946 г. Гавайи. Высота волн 12 м, скорость в океане 700 км/час. Погибло 156 человек.

1952 г. Камчатка, Курилы, Япония. Высота волн 8–18 м, скорость более 500 км/час. Тысячи погибших.

1953 г. Аляска. Высота волны 17–35 м, скорость свыше 700 км/час. Десятки погибших.

1960 г. Чили. Высота волны – 25 м. Наибольшая скорость 700 км/час. Более 1300 погибших.

1964 г. Аляска. Высота волны 30 м. Погибшие – 122 человека

1976 г. Филиппины. Высота волны – 9 м. Жертвы – 8000 человек.

1979 г. Колумбия. Высота волны 5 м. Погибло 259 человек.

1986 г. Гавайи. Высота волны до 20 м. Погибло 26 тысяч человек.

В качестве примечания скажем, что высота волны в 18 м соответствует высоте 7–8-этажного дома, а волна 40-метровой высоты – 10–15-этажному дому.

¹ Землетрясение в Индийском океане в 2004 году...

² Землетрясение в Японии (2011) // Википедия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Землетрясение_в_Японии_\(2011\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/Землетрясение_в_Японии_(2011)).

³ Трухин В.И., Показеев К.В., Куницын В.Е. Указ. соч.

⁴ Злобин Т.К. Природные катастрофы в литосфере Сахалино-Курильского региона и меры безопасности. Южно-Сахалинск: Сах.ГУ, 2006. 132 с.; Трухин В.И., Показеев К.В., Куницын В.Е. Указ. соч.

«Оживим» этот печальный список подробностями. 1 ноября 1755 г. в 9 ч 30 мин утра в столице Португалии Лиссабоне произошло страшное землетрясение, которое предположительно имело магнитуду 8,9. В течение 6 минут город был превращен в груды развалин, под которыми погибло около 60000 человек. Примерно через час после главного толчка море отступило, обнажив полосу прибрежной отмели. Люди, спасшиеся от землетрясения, пытались уйти из рушащегося и горящего города. Более сотни человек собралось на каменной набережной на берегу р. Тахо. В 11 часов из моря внезапно пришла волна, которая накрыла набережную и людей. Когда вода схлынула, ни набережной, ни людей не было¹.

Самое страшное по последствиям цунами на территории России произошло в ночь с 4 на 5 ноября на о. Парамушир на севере Курильской островной гряды.

«В тот день, в 3 часа 55 минут, жители г. Северо-Курильска были разбужены сильными толчками, сопровождаемыми многочисленными подземными взрывами, напоминающими отдаленную артиллерийскую канонаду. В результате этого деформировались здания, с потолков и стен сыпалась штукатурка, разрушились печи, падали шкафы, билась посуда, а более устойчивые предметы столы, кровати – двигались по полу от стены к стене, как незакрепленные предметы на корабле во время шторма.

Жители Северо-Курильска, привыкшие к периодическим колебаниям почвы, полураздетые, выбежали на улицу. Была на редкость тихая лунная ночь. Подземные толчки продолжались в течение 30–35 минут, затем наступила тишина. Население вернулось в свои квартиры, не подозревая о надвигавшейся опасности.

Было около 5 часов утра, когда люди, находившиеся на улице, услышали со стороны моря необыкновенный грозный и все нарастающий шум. Одновременно в городе раздались оружейные выстрелы. Стреляли работники милиции и военные, которые одними из первых заметили движение волны. В проливе между островами Шумшу и Парамушир, на фоне света луны со стороны океана, был замечен огромный водяной вал, стремительно приближающийся к г. Северо-Курильску. Людям показалось, что остров опускается. Надежда на спасение определялась лишь несколькими десятками секунд. Многие люди в нательном белье, босые, хватая детей, бросились к сопке. Водяной вал уже обрушился на прибрежные строения. Город наполнился треском, душевными криками утопающих и преследуемых водяным валом людей. Вал откатился, унося с собой человеческие жизни и значительную часть прибрежных построек.

Уцелевшие люди стали спускаться с сопки, осматривать разрушенные квартиры и разыскивать пропавших родственников. Но прошло не более 20–25 минут, как со стороны океана вновь послышался шум, перешедший в страшный грохот, и еще более грозный водяной вал высотой в 10–15 метров вновь стремительно катился по проливу. Его сила была такова, что тяжелые станки, полутоннажные сейфы, тракторы, автомашины срывало с мест и кружило в водовороте вместе с деревянными предметами, а затем разбрасывало на огромной площади или уносило в пролив.

В г. Северо-Курильске проживало около 6000 человек, погибло от цунами около 1200 человек. За исключением нескольких десятков, всех поглотило море. Всего от катастрофы погибло 2331 человек. Из них 2133 – мирного населения, 15 офицеров, 169 солдат и 14 человек – членов семей военных. Город был смыт полностью. Были разрушены и смыты водой все предприятия рыбной промышленности, военно-морская база, склады рыбокоопы, почти все учреждения, около 70% жилого фонда.

С наступлением рассвета 5 ноября над северокурильскими островами появились первые самолеты-разведчики из Петропавловска-Камчатского, которые произвели осмотр и фотографирование причиненных разрушений. Следом за ними в течение всего дня с самолетов сбрасывались теплая одежда, палатки и продовольствие. 6 ноября к месту землетрясения во Второй Курильский пролив начали прибывать из Петропавловска, а затем из Владивостока пароходы для спасения и эвакуации пострадавшего населения. В праздничные дни, 7 и 8 ноября, под погрузкой стояло около 40 судов различной грузоподъемности. К 11 ноября все население и войска были эвакуированы. Море после землетрясения было относительно спокойное, шторм был не более 6–8 баллов. 11 ноября выпал снег, а 12 – слабый буран окончательно покрыл всю землю снегом»².

В 1979 г. во время экспедиции на о. Парамушир я видел бетонные ворота японского стадиона – единственное уцелевшее после цунами сооружение во всей нижней части города. Пожилой капитан буксира рассказал, что в ту ночь они стояли на рейде у Северо-Курильска и ничего не заметили, только ранним утром в тумане увидели вокруг судна огромное число плавающих обломков мебели, досок, ящиков, бочек, чем были крайне удивлены. Когда же окончательно рассвело, города на берегу не было. У капитана – моего собеседника – в городе погибла семья. Добавлю страшную подробность о судьбе этого человека. Через много лет в г. Северо-Курильске с плато Аэродромное сошла лавина, которая погребла под собой несколько домов, стоящих под склоном. Было время обеденного перерыва, люди пришли домой поесть. Здесь их ждала смерть. В одном из домов полностью погибла вторая семья капитана...

¹ Уолтхем Т. Катастрофы: неистовая Земля. Л.: Недра, 1982. 223 с.

² Цит. по: Злобин Т.К. Геодинамические процессы и природные катастрофы...

В мае 1983 г. я читал лекции в Казани о вулканах Курильских островов. После выступления в Доме офицеров ко мне подошел пожилой, но очень бодрый и подтянутый человек и рассказал, что в 1952 г. он служил на Парамушире военным врачом и был свидетелем этого цунами. Их часть стояла на возвышенном месте и не пострадала, но военных погибло по его словам очень много. Здесь мы должны вспомнить, что тогда Курильские острова только что отошли к СССР, и на них были размещены многочисленные войсковые части.

Цунами на Курильских островах после 1952 г. повторялись неоднократно, иногда нанося значительный ущерб, особенно портовым сооружениям и зданиям, построенным в затопляемой зоне. Последним из сильных на Курильских островах было цунами, связанное с Шикотанским землетрясением 4(5) октября 1994 г. От него погибло 11 и было ранено 32 человека. На Шикотане смыло 4 дома, выбросило на берег рыболовецкий сейнер, повреждена портовая часть п. Крабоводска. В бухте Снежкова высота волны достигала 8,5 м. На о. Кунашир высота волны достигала 2–3 м. Была затоплена нижняя часть города Южно Курильска¹.

Вулканогенные цунами. Хрестоматийным примером цунами, порожденным вулканическим взрывом, является цунами, возникшее после взрыва вулкана Кракатау в Индонезии 26 августа 1883 г. Чудовищный взрыв породил волну высотой 45 м, погибло 36000 человек. Энергия этой катастрофы эквивалентна энергии взрыва 250–500 тыс. атомных бомб типа хиросимской. Волны цунами обожали всю планету и были зарегистрированы приборами в проливе Ла-Манш между Англией и Францией. В Индонезии цунами обрушилось на города Марак, Аньер, Тьяринган и полностью их разрушило. Лишь ничтожная часть населения этих городов пережила катастрофу. Находившийся в Аньере голландский моряк Де-Врис писал: «Я видел страшную массу бушующей воды, но это продолжалось лишь мгновение; она обрушилась и почти раздавила меня своей тяжестью. Я почувствовал, как меня уносит с бешеной скоростью в этом черном слоеном пироге, наполненном всевозможными предметами; наконец моя голова показалась из воды, и я смог глотнуть воздуха...». После нескольких попыток Де-Врису удалось уцепиться за дерево и вскарабкаться на него: «Вид был ужасный. Там, где только что находился Аньер, я увидел лишь бушующий, дико грохочущий поток, над которым то здесь, то там выступали деревья и крыши домов... Но вот вода с большой скоростью стала спадать и хлынула назад, в море: я увидел, как она стекает у меня под ногами, и вскоре смог покинуть свою высоко расположенную позицию, чтобы поискать спасения. Вновь ступив на твердую землю, я оказался в хаосе обломков, через которые пришлось продирается, действуя руками и ногами...»².

Цунами, порожденное взрывом вулкана Санторин в Эгейском море 3,5 тыс. лет назад, могло стать причиной гибели великой Минойской цивилизации на о. Крит (гипотетическая Атлантида Платона)³. Сотрудники Союзморниипроекта Б.А. Дугинов и С.С. Стрекалов попытались решить специальную гидродинамическую задачу: «Катастрофическое цунами на побережье Крита и в Египте XV–XIV вв. до н.э.». Основные выводы их работы следующие: «...у северного побережья Крита высота волны составляет 31 м. С прохождением в заливы острова высота волны возрастает до 50 м, а после ее отражения от обрывистых берегов и материкового склона отдельные заплески могут достигать высоты 60–100 м. В Средиземное море волна проходит через проливы, ослабевая за счет экранирования островами. По выходе из пролива Касос у южного побережья Крита высота волны составляет 9,3 м. После пересечения Средиземного моря и взаимодействия волны с материковым склоном и шельфом в районе дельты Нила ее высота становится равной 4 м. По дельте Нила, имеющей малый уклон поверхности, волна распространяется на расстояние 73 км вплоть до устьевой части на коренном берегу, т. е. практически вся мористая часть дельты подвергается затоплению»⁴.

Гравитационные цунами возникают при обрушении в воду обвалов, оползней, ледников, сходе на дно по подводному склону мутьевых потоков. При этом нужно иметь в виду, что спусковым крючком к таким событиям чаще всего являются сейсмические толчки.

Самое впечатляющее цунами такого типа произошло 9 июля 1958 г. на Аляске. После землетрясения $M = 8,4$ в бухту Литуйя с высоты 900 м со склонов горы Фейрузер обрушилась часть ледника Литуйя объемом около 300 млн. куб. м. На противоположной стороне бухты возник волновой заплеск высотой 524 м. Огромная волна прокатилась по заливу, сдирая со склонов деревья. В это время в бухте в 10 км от центра катастрофы находилось 3 корабля. Волна закрутила судно капитана Ульрича и с огромной скоростью перебросило его в открытое море через остров над верхушками 12-метровых деревьев и скалами величиной с дом⁵.

На о. Мадейра в 1930 г. цунами высотой до 15 м образовалось при падении обломков скалы с высоты 200 м, а в Норвегии в 1934 г. падение скальной массы в 3 млн. т с высоты 500 м вызвало цунами высотой 37 м.

Подводные оползни на склоне океанической впадины послужили причиной цунами в декабре 1951 г. в Пуэрто-Рико, а в октябре 1979 г. – на Лазурном Берегу в районе Ниццы. Высота волны достигла здесь 3 метров⁶.

Во время работы на Курилах из уст участника событий я услышал такой (отчасти курьезный) рассказ. Отряд вулканологов на о. Парамушир разбил лагерь на берегу озера Маловодное в кратере вулкана Богдановича на

¹ Злобин Т.К. Природные катастрофы в литосфере Сахалино-Курильского региона и меры безопасности...

² Цит. по: Раст Х. Вулканы и вулканизм. М.: Мир, 1982. 344с.

³ См., в частности: Геворкян С.Г. Великое минойское извержение вулкана Санторин и его последствия // Пространство и Время. 2011. № 2(4). С. 138–144.

⁴ Цит. по: Трухин В.И., Показеев К. В., Куницын В. Е. Общая и экологическая геофизика... С. 123–124.

⁵ Злобин Т.К. Природные катастрофы в литосфере Сахалино-Курильского региона и меры безопасности...

⁶ Трухин В.И., Показеев К.В., Куницын В.Е. Общая и экологическая геофизика...

хребте Вернадского. Ночное пробуждение было ужасным. Лагерь был смыт мощным валом воды. Все натерпелись страху, так как ночью понять, что произошло, было невозможно. Утром увидели, что с противоположного борта кальдеры в озеро обрушился подтаявший снежник. Коллегам «удалось» попасть в цунами на вершине вулкана. Место это оказалось опасным на самом деле. В августе 1979 г. здесь же наш маленький вулканологический отряд во время маршрута в районе перевала Кругозорный был застигнут тайфуном Ирвинг. Мы оказались на грани гибели от переохлаждения. Когда тайфун утих, на краю сильно подтаявшего снежника рядом с нашим лагерем на перевале обнаружили останки двух геологов. Они пропали ровно год назад в августе 1978 г.

Техногенные цунами. Разрушительную волну могут вызвать взрывы в воде атомных и водородных бомб. На атолле Бикини взрыв «Бей-кер» создал волны высотой около 28 м на расстоянии 300 м от эпицентра. Таким образом, данное явление может быть использовано как один из видов геофизического оружия.

Специально этим вопросом занимался упомянутый выше автор расширенного толкования цунами – американец Ван Дорн. Он был уполномочен в 1968 г. Отделом исследований военно-морского флота США (U.S. Office of Naval Research, ONR) проанализировать данные за несколько десятилетий и оценить опасность подобных волн, произведенных ядерными взрывами. Эксперименты действительно показали, что волны, произведенные взрывами бомб и болидов (метеоров), получаются гораздо меньше, чем волны цунами, поскольку большая часть энергии рассеивается прежде, чем волны достигают береговой линии. Явление уменьшения силы таких волн получило название «эффект Ван Дорна»¹.

Инженерные работы в прибрежной зоне могут спровоцировать образование оползней и, как следствие, возникновение цунами².

Некоторыми исследователями выделяются метеоцунами³. Волны, образовавшиеся в результате специфических метеорологических явлений, при выходе на мелководье или входе в узкие заливы, бухты и проливы также могут увеличивать свою высоту, т.е. преобразовываться в волны-цунами. Например, при выходе на мелководье глубоких циклонов, в центре которых из-за низкого давления уровень воды поднят на несколько метров.

Сказанного выше о природе цунами достаточно, чтобы принципиально решать проблемы прогноза цунами и предупреждения о них. Прогноз осуществляется на основе цунамирайонирования, т.е. выявления участков побережий, опасных по цунами. Районирование опирается на исследование географического положения берега относительно сейсмоактивных зон и геометрических особенностей трассы прохождения цунами. При этом обычно используются методы математического моделирования трансформации волн в зависимости от угла подхода к берегу, его конфигурации и профиля дна на пути волны.

Однако в лаборатории по моделированию цунами Орегонского университета пошли дальше. Планируется построить на берегу океана макет города на 6 тыс. жителей со всей инфраструктурой. По замыслу ученых, на него обрушится серия вызванных глубинными взрывами океанских волн-цунами высотой 10–11 м. Исследования обойдутся в \$1 млн⁴.

Выявление цунамиопасных зон побережий позволяет выполнить ряд превентивных мер по защите от цунами – перенос жилого фонда на возвышенные места, защита бухт и гаваней волноломами, цунами-стойкое строительство и пр. Однако портовые сооружения, склады, суда, грузовые краны перенести вглубь побережья нельзя. Поэтому приходится решать задачу по предупреждению о цунами.

Предупреждаются только сейсмические цунами. Предупреждение возможно потому, что скорость сейсмической волны намного превышает скорость волны-цунами. Выигрыш во времени зависит от расстояния до эпицентра землетрясения и может варьировать в интервале от нескольких часов до нескольких минут. При фиксации сеймостанцией сильного землетрясения магнитудой выше 7–7,5 уже встает вопрос о возможности цунами, но сначала надо определить положение эпицентра. Он может оказаться и на суше, т.е. не быть цунамигенным. Иногда и сильные землетрясения на дне акваторий не порождают цунами. Поэтому неоспоримым подтверждением возникновения цунами являются мареографические (инструментальное) измерения уровня океана, т.е. реальная фиксация волны. К сожалению, большинство мареографных пунктов расположены у побережий, что кардинально уменьшает время предупреждения. Поэтому прямая фиксация волн для предсказания используется только при крупных трансокеанских цунами. При расположении сейсмического очага недалеко от берега, когда счет времени идет на минуты, мареографы (даже когда они есть, и их много, как в Японии) используются не для объявления цунами-тревоги, а для ее отмены.

Принципиальные подвижки в деле предупреждения об угрозе цунами связаны, несомненно, с космическими технологиями. С одной стороны современные технологии уже подошли к выделению со спутников одиночных длинных волн даже небольшой высоты. Другой подход – установка на дне на цунамиопасных направлениях специальных датчиков, фиксирующих по изменению давления,хождение волны цунами и передающих ее параметры на спутники.

Международная система предупреждения о цунами на Тихом океане (Гонолулу). Первая служба предупреждения о цунами (СПЦ) была создана в США в 1948 г. после цунами 1946 г., которое сильно

¹ Борисов М. Опасность падения на Землю маленьких астероидов преувеличена // ГРАНИ.РУ. 2003. 19 марта. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://grani.ru/Society/Science/m.26443.html>

² Трухин В.И., Показеев К.В., Куницын В.Е. Общая и экологическая геофизика...

³ Злобин Т.К. Геодинамические процессы и природные катастрофы...

⁴ Побережье США станет полигоном для моделирования цунами // ФОБОС/Gismeteo.Ru. 2007. 14 июня. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pogoda.mail.ru/article.html?id=33231>

проявилось на Гавайских островах. Организация СПЦ была возложена на Национальную службу погоды США, которая выделила свою обсерваторию в Гонолулу (Гавайи). С августа 1948 г. эта обсерватория работает в качестве Тихоокеанского центра предупреждения цунами (ТЦПЦ). После разрушительного чилийского землетрясения 1960 г., вызвавшего цунами на многих участках побережья Тихого океана, ТЦПЦ стал международным: он использует сейсмические и приливные данные разных стран, а взамен бесплатно передает информацию о цунами. Принцип работы центра ориентирован на оперативное наблюдение за сильными трансхитоокеанскими цунами, которые существуют много часов. В 1966 г. под эгидой Межправительственной океанографической Комиссии ЮНЕСКО создана международная Группа по системам предупреждения о цунами на Тихом океане, в нее вошли 22 страны, в том числе и СССР.

Сейчас в систему входят 31 сейсмическая и 33 приливных станции. Сеть сейсмостанций ведет непрерывное наблюдение за сейсмической обстановкой. При поступлении данных от 5–7 станций определяется положение эпицентра и магнитуда землетрясения. Если она превышает пороговое значение (разное в разных регионах), центр посылает запрос на ближайшие к очагу приливные станции. Если хотя бы одна приливная станция сообщит о цунами, то выпускается предупреждение о цунами. По правилам работы центра время между предупреждением и землетрясением должно быть меньше 60 мин¹.

Поскольку процедуры работы Международной СПЦ предусматривают подтверждение существования цунами от сети мареографных станций, она не может своевременно обеспечивать предупреждения для близких очагов, время прихода волны от которых может составлять 15–20 минут и менее. Для решения проблемы местных цунами создаются региональные СПЦ.

Японская система предупреждения о цунами (ЯСПЦ) действует с 1952 г., она входит в состав Японского метеорологического агентства (ЯМА), вулканического и сейсмологического отделения, отдела наблюдений за землетрясениями и цунами. Работа ЯСПЦ опирается на очень густую (около 140) сеть сейсмических станций. Всего же за сейсмичностью в Японии наблюдают сотни сейсмических станций, только на ближайшем к нам о. Хоккайдо их расположено более 100².

Система имеет двухуровневую структуру: один национальный центр в Токио и 6 региональных центров. Каждый региональный центр имеет 15–20 сейсмостанций и развитую систему связи и отвечает за прогноз цунами от землетрясений в радиусе до 600 км. Национальный центр в Токио берет на себя ответственность за прогноз цунами от более удаленных землетрясений.

При возникновении потенциально опасного землетрясения региональный центр получает в течение 10 минут свыше 100 телеграмм (время вступления продольных и поперечных волн, их амплитуды). На их основе определяют положение эпицентра, глубину очага, магнитуду землетрясения. Данные поступают в реальном масштабе времени, сразу на ЭВМ. В течение 3 мин ведется обработка данных 12–15 сейсмограмм. Если магнитуда землетрясения превышает 6 и эпицентр находится под дном океана или в береговой зоне, то выбирается один из 5 типов выходных сообщений: сильное цунами, цунами, возможное цунами, отсутствие цунами, отмена тревоги. При выдаче 2-х первых видов сигналов происходит остановка всех видов работ в прибрежной зоне, эвакуация населения, вывод судов из гавани.

Особую опасность для Японии представляют цунами, возникающие на западном побережье страны, при землетрясениях в Японском море. Так в мае 1983 г. здесь погибло несколько десятков человек. Дело в том, что время подачи сигнала – 13 мин, а первые волны подошли к берегу через 9–10 мин. В некоторых районах время подхода волны к берегу составляет всего 3–5 мин. Для решения этой проблемы создают локальные системы, которые работают независимо от региональных и национальных центров, в них возможность цунами оценивается по сейсмическим данным в одной единственной точке. При этом проводится автоматическое отключение электрогазоснабжения; в телерадиопрограммы автоматически передается текст о цунами; происходит включение уличных сирен, начинается эвакуация населения в цунамибезопасные зоны³.

После катастрофического цунами 11.03.11 в Японии вводится новая система предупреждения цунами. Представители японской судостроительной корпорации Хитати Дзосэн совместно с исследователями одной из американских компаний разработали новую электронную систему раннего предупреждения о возникновении в океане волн-цунами на расстоянии около тысячи километров от побережья. Устройство будет устанавливаться на океанографических буях и регулярно передавать информацию о состоянии поверхности моря на спутниковые приборы глобального позиционирования⁴.

Аляскинский центр предупреждения о цунами (АЦПЦ) создан в 1967 г. в Пальмере как региональный центр с целью оповещения о цунами на Аляске и Алеутских островах. В 1982 г. в зону его ответственности было включено западное побережье США и Канады. Так как в зоне Алеутских островов и Аляски очаги подводных землетрясений расположены вблизи берега, и время подхода цунами составляет 10–20 мин, была организована телеметрическая система наблюдений и передачи сейсмических и мареографных сигналов в реальном масштабе времени в операционный центр в Пальмере. Сеть наблюдений АЦПЦ является одной из

¹ Трухин В.И., Показеев К. В., Куницын В. Е. Общая и экологическая геофизика...

² Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Цунами: предупреждение и защита. М.: МЧС России, 2006. 264 с.

³ Трухин В.И., Показеев К.В., Куницын В.Е. Общая и экологическая геофизика...

⁴ В Японии разработали сверхновую систему предупреждения о цунами // Новотек. 2011. 24 июня. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.novoteka.ru/sevent/9923408>

самых больших и современных в мире геофизических сетей с телеметрией. Она включает 140 сейсмических и 8 приливных станций. Система работает в автоматизированном режиме. Определение параметров землетрясения производится в течение 5–7 минут после регистрации землетрясения.

Для землетрясений Алеуто-Аляскинской зоны АЦПЦ объявляет тревогу-цунами при магнитуде более 6,75, не ожидая подтверждения цунами от приливных станций, поскольку очаги землетрясений очень близки. Для землетрясений в районах Командорских островов, западного побережья США и Канады с магнитудой больше 7,5 выпускается предупреждение, а тревога подается лишь в случае подтверждения цунами мареографными станциями.

Российская (Советская) служба предупреждения о цунами (ССПЦ). Побережья дальневосточных морей России протянулись на 4500 км от м. Дежнева на севере до Владивостока на юге. Вдоль Курило-Камчатской островной дуги расположен глубоководный желоб, пояс действующих вулканов, пояс землетрясений длиной около 1900 км. Сейсмичность этого района – одна из самых высоких в мире. 80% землетрясений в СССР приходилось на Курило-Камчатскую область. Служба предупреждения на Дальнем Востоке начала создаваться после катастрофического цунами 4 ноября 1952 г., смывшего г. Северо-Курильск (Постановление Совмина СССР от 23.10.1956).

Система была введена в строй в 1958–1959 гг. и включала 3 специализированных цунами-станции в Петропавловске-Камчатском, Южно-Сахалинске, Курильске, пункты гидрометеорологических наблюдений за уровнем и каналы оповещения населения об угрозе цунами. Каждая из цунами-станций в тревожный период действует автоматически, в своем административном районе. В систему предупреждения входили сейсмическая и гидрофизическая подсистемы. Сейсмическую подсистему составляли 6 сейсмостанций Академии наук СССР. Гидрофизическая подсистема базировалась на 53 прибрежных гидрометеостанциях. Основным рабочим методом является сейсмический, основанный на регистрации опережающих цунами сейсмических волн. Заблаговременность прогноза определяется разностью времен прихода сейсмических волн на цунами-станцию, с одной стороны, и волн-цунами к ближайшему участку побережья, с другой. Для Курило-Камчатского побережья в неблагоприятных условиях заблаговременность составляет около 15 мин¹.

В настоящее время на Сахалине работает региональная сеть, насчитывающая всего 4 сейсмологические станции, а на всех островах тысячекилометровой Курильской гряды таких станций всего три, причем морально устаревших². Катастрофическое землетрясение и вызванное им цунами в ночь с 4 на 5 октября 1994 г. возле о. Шикотана показали, что сейчас система предупреждения практически не действует. Стихия застала жителей Курильских островов врасплох.

Плачевное состояние российской системы предупреждения цунами после катастрофы в Индийском океане оказалось в поле зрения руководства страны. На открытии 12-й Международной научно-практической конференции, посвященной 15-летию Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, глава МЧС России С.К. Шойгу сообщил, что по поручению Президента РФ в 2006 г. министерство начало модернизацию и выведение на современный уровень системы раннего предупреждения о цунами на Дальнем Востоке. Ввод в действие этой системы планировался в 2008 г.³ Судя по недавно опубликованным данным, ничего принципиально значимого не только к 2008 г., но и к настоящему времени на Дальнем Востоке не сделано⁴.

Правда, в 2006 г. появился текст, из которого следует, что руководство МЧС реально представляет положение дел и то состояние, к которому нужно стремиться: «Нам есть у кого учиться целенаправленной и кропотливой подготовке к подобному рода опасности. Это наш ближайший дальневосточный сосед – Япония, побережье которой подвергается систематическим набегам цунами. Япония очень серьезно подошла к реализации мер по предотвращению негативных последствий названных природных катастроф и является реальным примером эффективности их применения. Имеет продуманную и четкую программу действий в случае катастроф. Здесь сделано все, чтобы при землетрясениях и цунами бедствия населения были минимальными. Ради этого ведется глубокое научное изучение сейсмических процессов, впервые в мире создана установка по имитации и изучению действий волн цунами, проводится инженерная защита побережья для снижения ущерба от их проявлений, создаются и совершенствуются современные системы предупреждения цунами и системы оповещения»⁵.

С грустью можно констатировать, что уровень прогноза и предупреждения о цунами в России достиг уровня стран Индоокеанского региона, которые 26 декабря 2004 г. потеряли почти четверть миллиона человек. При этом ни в одной из стран Юго-Восточной Азии, пострадавших от цунами, не было сделано предупреждения о надвигающейся опасности. Цунами достигло побережья Таиланда через 75 минут после начала землетрясения у о. Суматра, и своевременное предупреждение об опасности могло бы спасти жизнь тысячам людей.

Глава метеослужбы Таиланда Супарерк Тансриратанавонг, который был отправлен в отставку после этой катастрофы, заявил журналистам, что в Таиланде не было цунами в течение 300 лет, и поэтому не было причин для опасений. В то же время в таиландских СМИ появились сообщения о том, что предупреждение об опасности цунами не было сделано, чтобы не наносить ущерб туристическому бизнесу⁶.

¹ Трухин В.И., Показеев К.В., Куницын В.Е. Общая и экологическая геофизика...

² Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Указ. соч.

³ В 2008 году в России появится современная система раннего предупреждения о цунами на Дальнем Востоке // ИТАР-ТАСС. 2007. 18 апр. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.itar-tass.com>

⁴ Злобин Т.К. Геодинамические процессы и природные катастрофы...

⁵ Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Указ. соч.

⁶ В смерти тысяч людей в Таиланде обвинили метеорологов // MAX.RU. 2005. 5 янв. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://top.rbc.ru>

Следует сказать, что обе эти причины могли повлиять на бездействие властей. Одной из самых сложных проблем прогноза и предупреждения о стихийном бедствии является проблема ложной тревоги, которая прерывает течение нормальной жизни, производственную и коммерческую деятельность и неизбежно наносит существенный экономический ущерб региону. И, вероятно, в чем-то был прав министр, взвешивая все «за» и «против» объявления тревоги, ведь по статистике на долю Индийского океана приходится только 3% зафиксированных цунами.

Сразу после трагедии многие страны региона (Малайзия, Индия, Индонезия, Китай и др.) заявили о своем желании и готовности создать системы предупреждения о цунами. Прошло всего полтора года и цунами в этом районе повторилось. О трехсотлетнем отсутствии цунами говорить уже не приходится, однако СМИ сообщили: «... величайшая трагедия декабря 2004 года так ничему и не научила. Люди по-прежнему пребывают в неведении, а власти, к которым штормовое предупреждение все-таки поступает, цинично надеются на "авось". По имеющейся информации, Тихоокеанский центр предупреждений о цунами (Pacific Tsunami Warning Centre) и Японское метеорологическое агентство (GMA) сработали четко, своевременно передав информацию о землетрясении и возможном цунами. Но власти Индонезии вновь наступили на те же грабли, – до населения эта информация была доведена с большой задержкой. Тревогу объявили лишь за 45 минут до того, как побережье накрыла волна. С учетом того, что сиреной многие районы не оборудованы, этого оказалось недостаточно, чтобы жители удалились на безопасное расстояние. В результате люди в очередной раз были отданы на откуп стихии. А она, как известно, не знает пощады. По последним данным, число жертв цунами превысило 500 человек. При этом около 300 человек числятся пропавшими без вести»¹.

Заметим, что все усилия по прогнозу и предупреждению цунами сконцентрированы в Тихоокеанском регионе, на который приходится 75% зафиксированных цунами. И это справедливо, однако до настоящего времени все другие регионы, где произошла четверть всех цунами, практически лишены системы предупреждения об их опасности. Половина от этой четверти, т.е. более 12% от всех цунами, происходит в Средиземном море. Выше мы упоминали о них. Случаются цунами и в Черном море. Так, после сильного землетрясения в Крыму в 1927 г. в районе Алушты наблюдались волны цунами высотой 0,3–1 м. В Крыму цунами наблюдались также в 1869, 1908, 1919 гг. В Кавказской части Черного моря цунами фиксировались после землетрясения 12 июля 1966 г. в Анапе. Известны также цунами 4 и 21 октября 1905 г.²

Другой аспект проблемы состоит в том, что прогнозируются только сейсмические цунами. Волны-убийцы, порожденные другими причинами (обвалами, вулканическими извержениями, лавинами, мутьевыми потоками и пр.) остаются вне прогноза и предупреждения, а на их долю приходится до 15% зафиксированных цунами. Сказанное означает, что оказавшись на берегу любого водоема (даже на берегу кратерного озера на вершине вулкана), любой человек может стать жертвой цунами, а поэтому должен знать основные правила поведения при этих чрезвычайных обстоятельствах.

Главные признаки возможного цунами: толчок сильного землетрясения; отход воды, то есть резкий и кратковременный (за 10–15 минут) спад ее уровня, обнажение дна на сотни метров и даже на километры; после отхода волны пауза может длиться от 5 до 35 минут; аномальное поведение животных. Почуввав цунами, собаки и кошки, крысы и мыши, не обращая друг на друга внимания, покидают низменные прибрежные участки, устремляясь вверх, на склоны гор – подальше от воды. Необычное поведение животных, пожалуй, самый верный признак природной опасности. Обратив на него внимание, нужно не раздумывая следовать примеру наших меньших братьев.

Во время индонезийского цунами гигантская волна уничтожила трехкилометровую зону побережья Шри-Ланки, в которой находился природный заповедник Яла с сотнями диких слонов и леопардов. Не погиб ни один из них – все успели уйти³.

Вообще во время стихийных бедствий на раздумья нет времени. Действовать нужно автоматически, а для этого нужно готовиться к таким ситуациям. Незадолго до катастрофы 26 декабря 2004 г. десятилетняя британская школьница Тилли Смит учила признаки наступления цунами, среди которых указывалось резкое снижение уровня воды в море. Полученные знания спасли жизнь ей самой, ее матери и еще сотне постояльцев отеля «Мэрриот» в Пхукете. За несколько минут до прихода цунами, когда вода отошла от берега, девочка сообщила об опасности своей матери, а затем с помощью сотрудников отеля – туристам, отдохавшим на пляже. Отель оказался одним из немногих, где никто не погиб и не был серьезно травмирован⁴.

Если вы находитесь у побережья и ощутили землетрясение, – это сигнал тревоги. Первая волна может подойти через минуты, поэтому срочно переберитесь на возвышенность. Помните, что с интервалом от нескольких минут до часа может быть несколько волн, при этом самой сильной может быть не первая волна. Если нет возвышенности, уйдите от берега на 2–3 км. Поскольку скорость волны цунами – сотни км/час, то у вас будет не больше десяти минут на спасение. В безопасном месте подождите часа 3 после сильных толчков. Если бе-

¹ Система предупреждения о цунами оказалась бессильна // ФОБОС/Gismeteo.Ru. 2006. 19 июля. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://hghltd.yandex.net/yandbtm?fmode=inject&url=http>

² Злобин Т.К. Геодинамические процессы и природные катастрофы...

³ Куковякин В. В Черном море возможно цунами? // Вечерние Вести. 2005. 5 марта. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://krum.ru/article/article61.html>

⁴ Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Указ. соч.

рег виден, наблюдайте за ним. Если волны были, после последней подождите еще 1,5 часа.

Убегая от берега, нельзя использовать овраги, долины рек и ручьев и иные пониженные участки рельефа: именно по ним волна проникнет максимально далеко от берега.

Попад в волну, нужно набрать воздуха в легкие, сгруппироваться, закрыть голову руками. Оказавшись на поверхности воды, постарайтесь уцепиться за плавающий предмет или крепкое дерево.

Если землетрясение застало вас в помещении на берегу, то нужно срочно покинуть его и убежать от берега, если постройка легкая. В фундаментальном здании можно подняться на верхние этажи или крышу.

Общее правило, выработанное опытом, – от цунами эффективнее всего спастись бегством: судам уходить в открытое море, а обитателям суши подальше от берега¹.

В заключение вернемся к двум сильнейшим цунами, нашего времени – индонезийского 26.12.04 и японского 11.03.11, с описания которых мы начали статью. Первое из них – пример демобилизации, расслабленности и бездеятельности. Почти четверть миллиона человек, убитых волной, могли остаться в живых.

Последний (японский) случай печален. Он показывает, что даже в технически развитой, самой отмобилизованной в отношении землетрясений и цунами стране, с дисциплинированным и тренированным населением, стихия моментально погубила огромное количество людей. Здесь мы имеем дело с пределом современных возможностей в противоборстве с такой стихией. Сказанное не относится к аварии на АЭС, которая является ярким примером ошибки проектировщиков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисов М. Опасность падения на Землю маленьких астероидов преувеличена // ГРАНИ.РУ. 2003. 19 марта. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://grani.ru/Society/Science/m.26443.html>
2. В 2008 году в России появится современная система раннего предупреждения о цунами на Дальнем Востоке // ИТАР-ТАСС. 2007. 18 апр. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.itar-tass.com>.
3. Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Цунами: предупреждение и защита. М.: МЧС России, 2006. 264 с.
4. В смерти тысяч людей в Таиланде обвинили метеорологов // MAX.RU. 2005. 5 янв. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://top.rbc.ru>
5. Высота цунами в Японии превысила 40 метров // Географический портал. 2011. 17 июля. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://geo-site.ru/index.php?option=com>
6. В Японии разработали сверхновую систему предупреждения о цунами // Новотека. 2011. 24 июня. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.novoteka.ru/sevent/9923408>
7. Геворкян С.Г. Великое минойское извержение вулкана Санторин и его последствия // Пространство и Время. 2011. № 2(4). С. 138–144.
8. Землетрясение в Индийском океане в 2004 году // Википедия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://yandex.ru/yandsearch?text=6/Землетрясение_в_Индийском_океане.
9. Землетрясение в Японии (2011) // Википедия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Землетрясение_в_Японии_\(2011\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/Землетрясение_в_Японии_(2011))
10. Злобин Т.К. Геодинамические процессы и природные катастрофы: учебное пособие. Южно-Сахалинск: Сах. ГУ, 2010. 228 с.
11. Злобин Т.К. Природные катастрофы в литосфере Сахалино-Курильского региона и меры безопасности. Южно-Сахалинск: Сах.ГУ, 2006. 132 с.
12. Куковякин В. В Черном море возможно цунами? // Вечерние Вести. 2005. 5 марта. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://krym.ru/article/article61.html>
13. Необъявленная волна // Коммерсантъ Власть. 2005. 17 янв. № 2 (605). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.kommersant.ru/Doc-rss/538938>
14. Побережье США станет полигоном для моделирования цунами // ФОБОС/Gismeteo.Ru. 2007. 14 июня. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pogoda.mail.ru/article.html?id=33231>
15. Раст Х. Вулканы и вулканизм. М.: Мир, 1982. 344 с.
16. Система предупреждения о цунами оказалась бессильна // ФОБОС/Gismeteo.Ru. 2006. 19 июля. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://hghltd.yandex.net/yandbtm?fmode=inject&url=http>
17. Сывороткин В.Л. Землетрясения // Пространство и Время. 2011. № 2(4). С. 124–137.
18. Трухин В.И., Показеев К.В., Куницын В.Е. Общая и экологическая геофизика. М.: ФИЗМАТ-ЛИТ, 2005. 576 с.
19. Уолтхем Т. Катастрофы: неистовая Земля. Л.: Недра, 1982. 223 с.
20. Цунами затопило города // Взгляд. 2007. 2 апр. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://vz.ru/society/2007/4/2/75376.html>
21. Цунами // БСЭ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://slovari.yandex.ru>
22. Van Dorn W.G. Tsunamis // Contemp. Phys. 1968. N 9. P. 145–164.

¹ Там же.