

УДК 550.34

СЛЕДЫ ДРЕВНИХ ЦУНАМИ В ПРИБРЕЖНЫХ ЧАСТЯХ ЮЖНО-КИТАЙСКОГО МОРЯ

© 2015 г. Е.А. Рогожин

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

Результаты геолого-геоморфологических работ показали, что Южно-Китайское море и его ближайшее береговое обрамление являются опасными с точки зрения прихода цунами от сейсмоактивных зон Филиппин и Тайваня на западные и северо-западные прибрежные зоны Южно-Китайского моря. Собранные данные о палеоцунами позволяют датировать по меньшей мере три таких древних катастрофы, произошедшие в течение последней тысячи лет (около 350, 650 и 960 лет тому назад). Можно оценить высоту заплесков этих древних цунами. Они составляли более 7 м, а местами превышали 15 м. Протяженность охваченного палеоцунами берега моря оценивается в несколько сотен (до первой тысячи) километров, что дает возможность отбраковать их от проявлений древних тайфунов, также характерных для региона.

Ключевые слова: цунами, отложения, высота волн, возраст, Южно-Китайское море.

Введение

Глобальные природные катастрофы, связанные с сильнейшими подводными землетрясениями 26.12.2004 г. в Юго-Восточной Азии и 11.03.2011 г. у восточного побережья о. Хонсю [Рогожин, 2005, 2011], вновь привлекли внимание к проблеме оценки опасности цунами, прогнозирования этих катастрофических явлений и создания систем оповещения. Оба землетрясения, согласно разным источникам, имели магнитуду около 8.8–9.0. Смещение на дне океана в обоих случаях оценивается в 8–10 м, высота волны в прибрежной части местами достигала 20 м и более, скорость распространения цунами в открытом океане – около 700 км/ч. Цунами распространилось на огромные территории от Индонезийского архипелага до Африканского континента и побережья Шри-Ланка в первом случае и на всю северо-восточную часть Тихого океана – во втором. Общее количество жертв измеряется 250 тыс. человек на Суматре, в Таиланде и северной части Индийского океана. Число погибших и пропавших без вести в результате землетрясения и цунами в Японии превышает 25 тыс. человек, как сообщило информационное агентство «Киодо». Число эвакуированных – 450 тыс. человек.

Цунами сопровождало и многие сильнейшие землетрясения магнитудой более 7.5 и в ряде других регионов, особенно относящихся к Тихоокеанскому подвижному поясу. В пределах Курило-Камчатской островной дуги, например, одно из сильнейших землетрясений с цунами, произошедшее в 1952 г., практически смыло с лица земли г. Северо-Курильск. Хорошо известны цунами 1933 г. в пределах Японского архипелага, 1960 г. на побережье Чили, а также в других частях Тихоокеанского пояса. Как правило, они происходили в связи с высокомагнитудными землетрясениями, которые возникали на внешней (океанической) стороне островных дуг.

Представляется, что после цунамигенных сейсмических событий 2004 и 2011 годов актуально оценить имеющиеся как по историческим, так и по палеосейсмическим (геологическим) данным материалы о древних проявлениях цунами в районах, где они практически неизвестны в историческое время.

В качестве подходящего примера может рассматриваться территория Южно-Китайского моря (побережье Вьетнама и юга Китая), характеризующаяся высоким уровнем изученности с точки зрения сейсмологии, сеймотектоники, а также современных эндогенных режимов его прибрежной континентальной части и смежной акватории [Рейснер, Иогансон, 1997]. Это море является окраинным, изолированным от Тихого океана бассейном. С востока оно обрамляется Филиппинской островной дугой, с юга – Индонезийским архипелагом. Возникающие в нем цунами в первую очередь опасны для берегов обрамляющей море суши. В то же время цунами, возникающие при удаленных землетрясениях на Японской островной дуге, у западного побережья Южной Америки практически не доходят до берегов Южно-Китайского моря, поскольку экранируются островами Филиппинской и Малазийской островных дуг.

Почти все побережье Вьетнама и многие участки побережья на юге Китая имеют низменный рельеф, для них характерны многочисленные бухты и мелкие острова, которые могут усугубить разрушительное действие цунами, если оно возникнет в Южно-Китайском море. Целью статьи является подтверждение возможности возникновения цунамигенных землетрясений в акватории моря путем описания следов палеоцунами на побережье, возникших при приходе такой волны в древние времена.

Оценка сейсмического потенциала Южно-Китайского моря

Основная сейсмическая активность в Южно-Китайском море проявляется в восточной и юго-восточной частях – у берегов Филиппинской и Малазийской островных дуг (рис. 1). Для региона оценку сейсмического потенциала (M_{\max}) проводили Г.И. Рейснер и Л.И. Иогансон [Reisner, Ioganson, 1996; Рейснер, Иогансон, 1997], а также [Cao Dinh Trieu et al., 2007; Ren et al., 2014].

Реализация прогнозных M_{\max} для Южно-Китайского моря и прибрежной части акватории с использованием внерегионального сеймотектонического метода позволяет заключить, что в целом структура сейсмических поясов в пределах Южно-Китайского моря выглядит в плане четко зональной.

Высокомагнитудные зоны ($M_{\max} = 8.0 \pm 0.2; 7.5 \pm 0.2$) располагаются в восточной части региона на западном склоне Филиппинского архипелага и в окрестностях о. Калимантан. Это неудивительно, поскольку здесь проходит западная зона Беньофа, гипоцентры сейсмических событий в которой погружаются на восток под острова Филиппинского архипелага до глубин 300 км. Здесь же прослеживается цепочка глубоководных желобов: Манильского, Негрос и Сулу. То есть это типичная континентальная окраина, подобная Курило-Камчатской или Японской островным дугам. В западном и северном

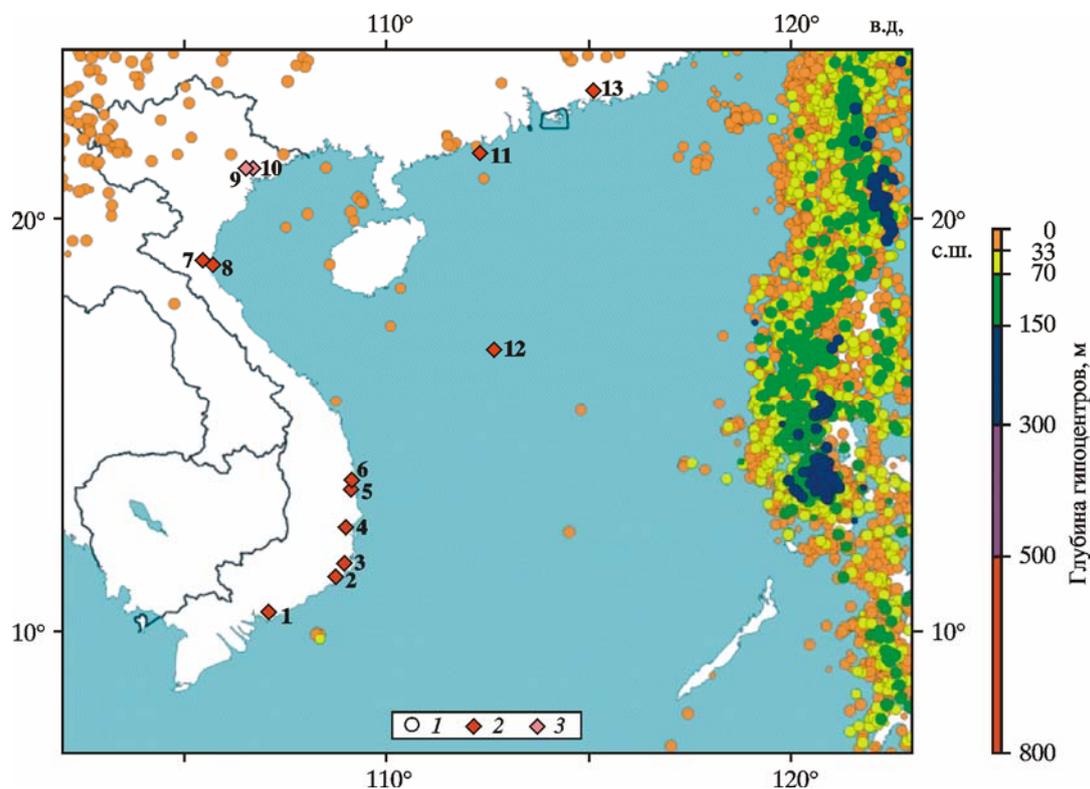


Рис. 1. Эпицентры землетрясений, зарегистрированных инструментально в северной части региона Южно-Китайского моря (данные Геологической службы США)

1 – гипоцентры землетрясений; 2 – точки изучения отложений палеоцунами и их номера; 3 – точки отсутствия отложений палеоцунами и их номера

направлениях сейсмический потенциал существенно снижается ($M_{\max} = 7.0 \pm 0.2$; 6.5 ± 0.2). Такие очаговые зоны охватывают осевую часть и Вьетнамское побережье Южно-Китайского моря. Наконец, на северо-западе, в районе о. Хайнань, вновь обнаруживается зона с $M_{\max} = 7.5 \pm 0.2$. Собственно глубоководная часть бассейна практически слабосейсмична или вообще асейсмична.

По материалам [Cao Dinh Trieu et al., 2007; Ren et al., 2014] в целом эти заключения подтверждаются (табл. 1). Правда, несколько выше оценка сейсмического потенциала Южного Китая.

Таблица 1. Сейсмоактивные зоны региона Южно-Китайского моря и их сейсмический потенциал [Cao Dinh Trieu et al., 2007]

| Зона | M_{\max} |
|--|------------|
| Восточная часть Южно-Китайского моря | 6.1 |
| Центральная часть Южно-Китайского моря | 5.9 |
| Юг провинции Гуандонг | 7.3 |
| о. Ява | 6.9 |
| о. Калимантан | 6.0 |
| г. Манила (о. Лусон) | ≥ 7.9 |
| Северо-Восточный Вьетнам | 5.9 |
| Северо-Западный Вьетнам | 6.8 |
| Филиппины | ≥ 7.9 |
| г. Шанхай | 7.1 |
| Южный Вьетнам | 6.1 |
| о. Тайвань | 7.9 |

Следует отметить, что за период исторических и инструментальных наблюдений в регионе (1627–1994 гг.) многие из выделенных потенциальных зон проявили высокую сейсмическую активность [Cao Dinh Trieu et al., 2007]. Известны землетрясения 1627 и 1645 годов с магнитудой около 8 и 1828, 1852, 1880, 1934 и 1937 годов с магнитудой 7.5 в районе о. Лусон. В районе Филиппин в 1862 г. отмечено землетрясение с $M = 7.5$. Сильнейшие события ($M = 8.5$) произошли в море Сулу в 1897 и 1948 годах и в районе о. Целебес в 1968 г. ($M = 7.8$).

Палеоцунами на восточном побережье Вьетнама

Несмотря на то, что в пределах окраинных морей России цунами возникали неоднократно, планомерное изучение их началось сравнительно недавно [Мурти, 1981; Мелекесцев и др., 1994; Рогожин, 1996, 2011; Заякин, 1997; Мелекесцев, Курбатов, 1997; Pinegina, Bourgeois, 2001; Гусяков, 2002; Левин, 2005; Рогожин, Захарова, 2006; Pinegina et al., 2007]. В основном атакам цунами подвергались Курильский и Камчатский регионы, на примере которых разрабатывались методы выявления палеоцунами, оценки их параметров (максимальная высота волны, высота заплеска, длина и высота зоны затопления и др.), время возникновения. В работах [Мелекесцев и др., 1994; Мелекесцев, Курбатов, 1997] перечислены признаки, по совокупности которых можно отличить цунамигенные отложения и формы рельефа от объектов иного происхождения. Предполагается, что «чужеродные» по отношению к нормальным почвенно-пирокластическим и осадочным чехлам, состоящим из чередующихся горизонтов тафры и погребенных почв, прослой цунамигенных отложений должны в них достаточно резко выделяться. И действительно, было выявлено несколько прослоев, идентифицированных как «песок цунами». Подобные прослой характеризуются изменяющимися по простиранию мощностью, цветом, а также размерностью и сортированностью материала. Присутствие в них прекрасно окатанных морской гальки и гравия в разрезах, недосягаемых для штормовых волн, подтверждает цунамигенный характер этих отложений. Указанные авторы, в частности, выделили два (или три) горизонта, которые были оставлены волнами цунами.

Можно предполагать с большой вероятностью, что Южно-Китайское море также является цунамигенным объектом, в пределах которого проведены первые специальные исследования, включающие поиски следов палеоцунами. Это утверждение основано на том, что для возникновения цунами в Южно-Китайском море есть в природе все достаточные предпосылки.

В первую очередь вполне четко определяются структуры, являющиеся источниками накопления и реализации сейсмической энергии. Они образуют систему вытянутых в субмеридиональном направлении островов западной части Филиппинской дуги. Наиболее крупными в этой системе являются острова Калимантан, Палаван, Лусон и Тайвань.

Также ясно, что при существующем соотношении простираний указанной системы островов (субмеридиональное) и Индокитайского полуострова (к северу от 14° с.ш. – северо-западное, а к югу – северо-восточное) при катастрофическом цунами практически может быть поражена любая часть восточного побережья Вьетнама. Исключение можно сделать только для сравнительно небольшого участка, в какой-то степени «защищенного» о. Хайнань от прихода цунами восточных румбов. Уязвимой оказывается и южное побережье Китая, включая восточный берег о. Хайнань, а также острова Ксиша.

В то же время этот регион является сложным для безусловного решения задачи расшифровки истории древних цунами. Дело в том, что здесь регулярно возникают крупные тайфуны. При этом волны в прибрежной зоне достигают высоты 3–6 м, а иногда и 10–15 м над уровнем моря [Тунеголовец, 1987]. Поэтому различить заплески от этих атмосферных явлений прошлого и палеоцунами довольно трудно. Вероятно, следует изучать с этой точки зрения покровные отложения морских террас высотой более 5 м (до 15 м) над уровнем моря.

Собственно нагон волн от тайфуна происходит на участке шириной 15–30 км. Действие ветровых волн и зыби может распространяться на расстояние до 350 км от центра циклона. Цунами же распространяются на расстояния, превышающие 1000 км, а охват побережья заплесками может составить при землетрясении с $M = 8$ более 500 км.

Для проверки высказанных предположений в течение ряда лет были сделаны попытки найти следы древних цунами на восточном побережье Вьетнама. С этой целью было изучено несколько бухт в средней и южной частях страны, где удалось обнаружить отложения, образовавшиеся, вероятнее всего, в результате заплеска волны палеоцунами на побережье в доисторические времена (см. рис. 1). Почти для всех таких проявлений радиоуглеродным методом был определен возраст погребенных палеопочв (результаты определения возраста образцов методом ^{14}C обрабатывались по новому стандарту (критерию) с периодом полураспада $T_{1/2} = 5730 \pm 30$ лет (табл. 2).

Таблица 2. Результаты определения возраста образцов методом ^{14}C по новому стандарту (критерию), $T_{1/2} = 5730 \pm 30$ лет

| Номер точки | Места отбора образца | Время измерения образца, мин | Возраст образца, определенный с применением международной поправки по традиционному стандартному образцу INT-98, лет | Погрешность определения возраста, лет |
|-------------|----------------------|------------------------------|--|---------------------------------------|
| 1 | Вунг Тау | 2800 | 885 | ± 95 |
| 2 | Фан Тхьет | 200 | 1055 | ± 70 |
| 3 | Фан Ранг, 2005 г. | 2800 | 480 | ± 90 |
| | Фан Ранг, 2006 г. | 2800 | 935 | ± 75 |
| 4 | Нья Чанг (слой 1) | 2800 | 340 | ± 50 |
| | Нья Чанг (слой 2) | 2800 | 405 | ± 60 |
| 5 | р. Кау | 2800 | 683 | ± 55 |
| 6 | Кья Ло | 2800 | 555 | ± 70 |
| 7 | Диен Чау | 2800 | 660 | ± 50 |

Наиболее южная изученная точка (т. 1) располагается в глубине бухты на юго-западном побережье п-ова Вунг Тау (Vung Tau). В пункте с координатами $10^{\circ} 22.956'$ с.ш. и $107^{\circ} 03.419'$ в.д. обнаружена цокольная морская терраса высотой 18 м над уровнем моря. Цоколь образован мелкокристаллическими лейкократовыми гранитами, а покров – несортированными, слабо- и среднеокатанными обломками гранитного и песчаникового состава (рис. 2). Слоистость в покровном комплексе, имеющем мощность 25–30 см, не наблюдается. Обломки крепко сцементированы мелким песчаником аркозового состава. Возраст осадочного слоя на поверхности террасы согласно результатам радиоуглеродного анализа – 885 ± 95 ВР (лет тому назад).



Рис. 2. Обнажение в глубине бухты на юго-западном побережье п-ова Вунг Тау, вскрывающее отложения палеоцунами в чехле цокольной морской террасы

Точка 2 располагается к востоку от пос. Фуок Диём (Phuok Diem), бухта Фан Фиот (Phan Thiot), в пункте с координатами $11^{\circ} 18.389'$ с.ш. и $108^{\circ} 44.810'$ в.д. На поверхности морской цокольной террасы высотой 12 м залегает террасовый комплекс рыхлых отложений, сложенный средне- и слабоокатанной галькой лимонитового состава, облепленной крошкой угловатых обломков аркозового состава (рис. 3). Распространены также гальки мелкозернистых кварц-полевошпатовых песчаников и гранитов. Размер гальки – 0.5–10 см по длинной оси. Горизонт слабо сцементирован аркозовым грубым песком. Террасовый комплекс практически не сортирован и развит лишь на пониженных участках террасы; на более высоких ее отрезках (высоты более 12–13 м над уровнем моря) галечный материал отсутствует и на поверхности террасы распространен непосредственно материал цоколя – выветрелые лейкократовые граниты. Мощность обломочного комплекса, таким образом, изменяется от 50 см до 0. Имеются особо глубокие карманы в поверхности цоколя, где мощность галечников увеличивается до 1 м. Возраст осадочного слоя в верхней части террасы согласно результатам анализа ^{14}C – 1055 ± 70 BP.

Третья точка наблюдения (т. 3) находится в районе г. Фан Ранг (Phan Rang). Ее координаты – $11^{\circ} 35.501'$ с.ш. и $109^{\circ} 01.807'$ в.д. На террасе высотой 9 м над уровнем моря в подножье крупного скального выхода гранитов обнаружены два погребенных среди элювия горизонта аркозовой дресвы мощностью 10–20 см (нижний горизонт) и 5–15 см (верхний горизонт) (рис. 4).

Нижний горизонт аркозовой дресвы залегает на поверхности слоя погребенной темно-серой палеопочвы мощностью 5–10 см и характеризуется размером угловатых обломков 0.1–0.5 см и грубой сортировкой материала. Наблюдается некоторое подобие

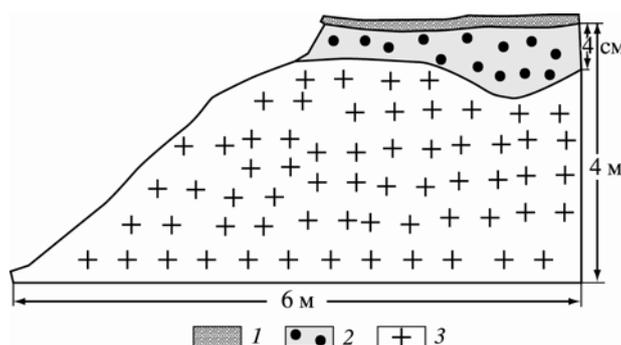


Рис. 3. Фото и зарисовка обнажения в районе пос. Фуок Диём, бухта Фан Фиот
1 – современная почва; 2 – толщина аркозового состава; 3 – гранит

градационной зернистости, когда в подошве слоя залегают более грубые фракции, а ближе к поверхности – мелкие, песчаного размера. Горизонт аркозов перекрывается очень бедной палеопочвой, на которой залегают второй, верхний слой аркозовой дресвы и песков. Материал обоих горизонтов дресвы отмытый, несцементированный, рыхлый. Соотношение верхнего и нижнего слоев дресвы имеет черты косослоистой текстуры. Поверхность террасы наклонена на северо-восток (азимут падения – 55° , угол – 3°), а нижний горизонт аркозовой дресвы – под углом 5° . Из горизонтов палеопочвы отобраны образцы на определение возраста методом ^{14}C . Датирование показало время образования верхней палеопочвы 480 ± 90 ВР, а нижнего горизонта – 935 ± 75 ВР (см. табл. 2, рис. 4). Таким образом, древние цунами, оставившие следы в виде специфических горизонтов, произошли порядка 450 и 920 лет назад.

К югу от этого обнажения расположена дюна, вытянутая параллельно берегу моря. Высота дюны 10–20 м. Дюна сложена светлым желтовато-серым кварц-полевошпатовым песком грубой и средней зернистости. Отмечается косая слоистость и слабая

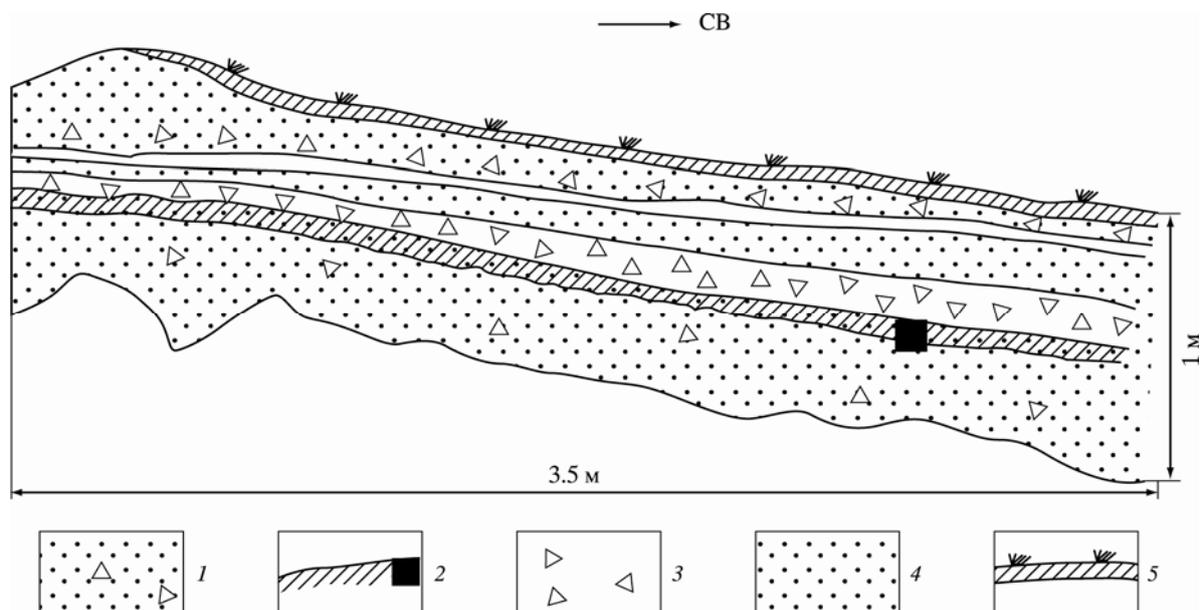


Рис. 4. Фото и зарисовка обнажения в районе г. Фан Ранг

1 – толща красноцветного элювия по гранитному матриксу; 2 – слой погребенной темно-серой палеопочвы и место взятия образца на радиоуглеродный анализ; 3 – горизонты аркозовой дресвы; 4 – тонкий латерит; 5 – современная почва

цементированность материала. В подножье дюны пляжный песок содержит многочисленные окаменевшие обломки мшанок и коралловых колоний.

Следующая к северу точка (т. 4) располагается на западном берегу бухты Дао Кхи (пункт Ня Чанг, Nha Trang) в месте с координатами $12^{\circ} 20.798'$ с.ш. и $109^{\circ} 11.827'$ в.д. на высоте 7 м над уровнем моря (рис. 5). Здесь, на поверхности низкой морской террасы,

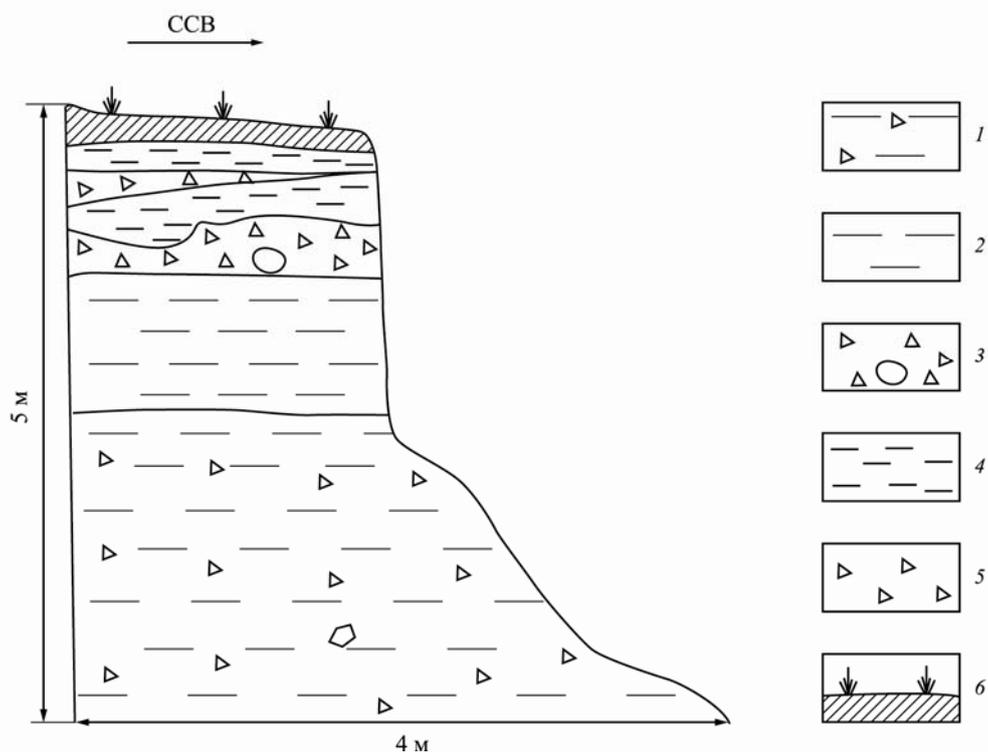


Рис. 5. Фото верхней части разреза и зарисовка обнажения в районе бухты Дао Кхи

1 – толщина красноватого элювия по гранитному матриксу; 2 – латериты; 3 – нижний горизонт отмытой несортированной дресвы аркозового состава с отдельными окатанными гальками гранитов (отложения палеоцунами); 4 – тонкий латерит; 5 – верхний горизонт отмытой несортированной дресвы аркозового состава (отложения палеоцунами); 6 – современная почва

на толще красноцветного элювия по гранитному матриксу и перекрывающего его слоя латеритов толщиной 70 см залегают два горизонта мощностью 15–25 см, сложенные отмытой несортированной дресвой аркозового состава с отдельными окатанными гальками гранитов. Размер угловатых обломков – 0.3–1.5 см. Галька в сечении имеет размер 1.5×3.0 см (единичная – диаметр до 10 см). Пространство между крупными обломками заполнено грубозернистым аркозовым песком. Горизонты разделяются и перекрываются тонкими слоями латерита (10–20 см мощностью). Венчает разрез тонкий слой современной почвы.

Из обоих горизонтов был отобран материал на определение возраста радиоуглеродным методом. Получены следующие результаты. Верхний горизонт показал возраст 340 ± 50 ВР, а нижний – 405 ± 60 ВР.

Точка 5 находится на западном берегу бухты в районе пос. Кам ($13^\circ 27.27'$ с.ш. и $109^\circ 12.43'$ в.д.) на высоте 6–8 м над уровнем моря. Здесь на поверхности морской террасы обнаружен горизонт свежей, практически не сцементированной среднеокатанной гальки серо-зеленых граувакковых песчаников в обломочном матриксе того же состава. Размер галек – от 0.5 до 5 см. Радиоуглеродный возраст – 683 ± 55 ВР.

В точке 6, в местности с названием Кыа Ло, обнаружен еще один горизонт захороненной под осадками, похожими на отложения цунами, палеопочвы. Ее возраст – 555 ± 70 ВР.

Покровный комплекс высоких морских террас во всех изученных точках в центральной и южной частях Вьетнамского побережья Южно-Китайского моря имеет ряд сходных черт, позволяющих отнести эти отложения к одной формации. Везде мы имеем дело с цокольными террасами, основание которых образовано в разной степени выветрелыми гранитами. В двух местах в подошве террасовых отложений наблюдается погребенная палеопочва или слой полностью переработанных латеритов. Для отложений террас характерен в основном гранитный или аркозовый состав обломков. Иногда присутствуют обломки других осадочных пород. Материал всегда местный, не перенесенный даже на небольшие расстояния, слабо окатанный и плохо сортированный. Отсутствие в покрове террас остатков морских организмов, сортированной и ориентированной хорошо окатанной гальки, отмытого кварцевого песка свидетельствует об образовании этих наносов не в нормальных пляжных условиях, а скорее, в обстановке крайней взмученности воды. Такие условия характерны для волн цунами. Высота террас – от 8 до 18 м – позволяет грубо оценить высоту волн цунами на восточном и юго-восточном побережье Вьетнама. Она, по-видимому, в основном составляла около 15 м. В разрезе некоторых изученных террас имеется по два горизонта таких отложений, что говорит по крайней мере о двукратном проявлении здесь цунами в позднем голоцене.

Несколько особняком стоят точки, обследованные в северной части побережья Южно-Китайского моря во Вьетнаме.

Точка 7 на западном берегу бухты Диен Чау (Dien Chau, $18^\circ 57' 27.6''$ с.ш. и $105^\circ 37' 04''$ в.д.) расположена на высоте 10–15 м над уровнем моря. Здесь, в восточной части морского пляжа, в 200 м от берега сформированы две волноприбойные дюны высотой 3–5 м. Более удаленная от моря дюна имеет ширину порядка 15 м; она сложена мелкозернистым косослоистым сортированным песком темно-желтого и буроватого цветов. Песок содержит раковины моллюсков и их обломки. Размер раковин – от 0.5 до 2 см. Размер обломков раковин двустворок – до 0.5 см. Кроме того, встречаются обломки некрепкосцементированного песчаника округлой формы размером от 3 до 5 см, включающие мелкие раковины, аналогичные современным. Склоны вала имеют крутизну 5–10°. Слоистость подчеркивается более светлыми и более темными разнообразно-

стями песка и на восточном склоне параллельна поверхности дюны. Азимут простира-
ния вала – 0–10°.

Вторая гряда, более близкая к морю, также сложена мелкозернистыми кварцевыми
песками. Ее ширина составляет порядка 50 м. Простираение также меридиональное.
Между двумя грядами размещается низина, по дну которой протекает ручей. Берега
ручья покрыты современной почвой мощностью 15 см. При этом на обоих валах почва
отсутствует, несмотря на то, что на их поверхности произрастают сосны и кустарник.

По данным дешифрирования космического снимка (рис. 6) обе дюны имеют в плане
дугообразную форму и конформно повторяют изгиб берега в бухте Диен Чау. Их обра-
зование, вероятно, связано с отложением песков при заплесках волн из Южно-
Китайского моря в бухту Диен Чау.



Рис. 6. Космический фотоснимок района бухты Диен Чау

Следующий участок изучения палеоцунами (т. 8) располагается на берегу бухты Ди-
ен Чау вблизи населенного пункта Хой Моуф (Hoi Mouth) в точке с координатами
18° 52' 40.6'' с.ш. и 105° 40' 30.5'' в.д. на высоте примерно 15 м над уровнем моря.
Здесь, на поверхности пляжа, сложенного желтым кварцевым песком, мелкозернистым,
неслоистым, с горизонтом раковин двустворок, залегающих в позиции «чашечками
вверх», выражен слой серой подзолистой палеопочвы мощностью до 20 см с включени-
ем одной хорошо окатанной гальки пемзы размером 5 см в диаметре (рис. 7).

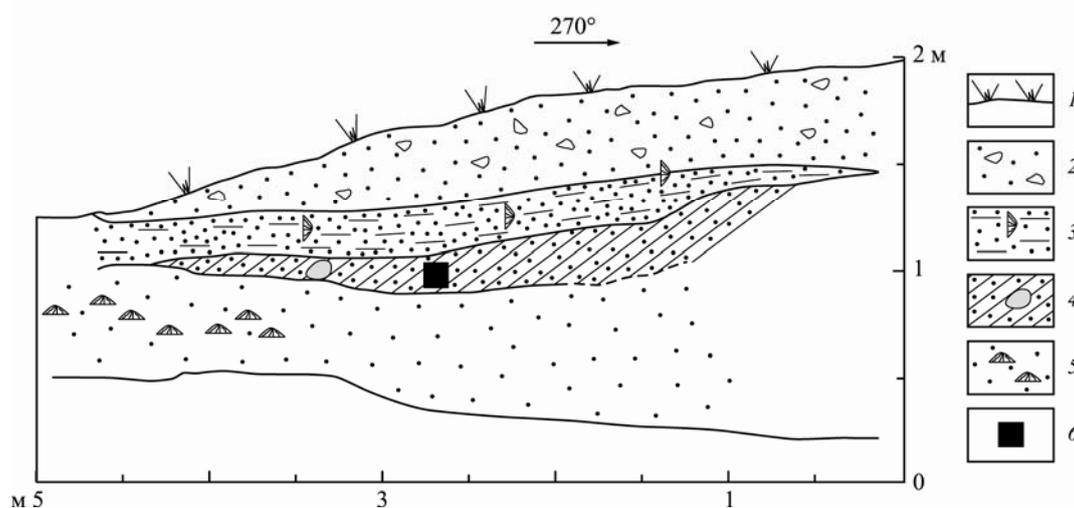


Рис. 7. Фото и зарисовка обнажения в районе бухты Диен Чау

1 – современная почва; 2 – грубозернистый слабосортированный песок с включениями мелкой гальки и угловатых обломков раковин; 3 – грубозернистый отмытый сортированный песок аркозового и кварцевого состава с отдельными раковинами двустворок в положении «чашечками вбок»; 4 – серая подзолистая палеопочва с включением одной хорошо окатанной гальки пемзы; 5 – желтый мелкозернистый неслоистый кварцевый песок с горизонтом раковин двустворок, залегающих в позиции «чашечками вверх»; 6 – место взятия образца палеопочвы на радиоуглеродный анализ

Из слоя палеопочвы взят образец на радиоуглеродный анализ. Его результаты – 660 ± 50 ВР.

На слое палеопочвы залегают два горизонта. Первый горизонт представлен комплексом из слоев грубозернистого отмытого сортированного песка аркозового и кварцевого состава с отдельными раковинами двустворок в положении «чашечками вбок» и слоя мелко-среднезернистого несортированного кварцевого песка в верхней части комплекса общей мощностью 15–25 см. Вверх по разрезу этот комплекс резко перекрывается

грубозернистым слабосортированным песком с включениями мелких галек и угловатых обломков раковин размером 0.3–0.5 см. Галька в сечении имеет размер 0.5×0.3 см. Венчает разрез весьма тонкий слой современной примитивной почвы, покрытой редкой растительностью. Два горизонта песков, перекрывающих палеопочву, могут рассматриваться в качестве отложений цунами.

В районе г. Ха Лонг осмотрены две низкие морские цокольные террасы. В т. 9 с координатами 20° 57' 30.7" с.ш. и 106° 57' 10.6" в.д. такая терраса имеет высоту 10–15 м над уровнем моря. На террасе обнаружена современная примитивная почва, покрытая редкой травянистой и кустарниковой растительностью, перекрывающая элювиальные отложения. Пляжный комплекс отложений здесь отсутствует.

В этом же районе найдена еще одна терраса высотой порядка 10 м над уровнем моря. В т. 10 с координатами 20° 57' 46.6" с.ш. и 106° 56' 35.4" в.д., расположенной на этой террасе, на поверхности распространены галечники с суглинистым цементом, напоминающие обычный комплекс осадков морского пляжа. В целом можно сделать вывод, что в районе г. Ха Лонг на низких морских террасах комплекс отложений палеоцунами отсутствует. По-видимому, это связано с экранированием побережья о. Хайнань островами архипелага Ко То (Cỏ Tô) от прихода волн цунами из Южно-Китайского моря.

Палеоцунами на южном побережье Китая

Риск возникновения больших разрушительных цунами в Южно-Китайском море и в окружающих его прибрежных областях часто недооценивается. Следы древних волн цунами здесь остаются нераспознанными из-за трудности дифференциации отложений цунами и сильных штормов. Тем не менее наличие нескольких убедительных фактов позволило зафиксировать проявления древних цунами и в этом регионе. Китайскими исследователями [*Liguang Sun et al.*, 2013] на островах Ксиша (Xisha) (т. 12) в Южно-Китайском море были собраны предварительные доказательства произошедшего здесь около 1024 г. большого цунами. Наличие песчаных слоев в озерных отложениях в западной части о. Донгдао (Dongdao Island; координаты – 16° 39'–16° 41' с.ш., 112° 43'–112° 45' в.д.) и их геохимические характеристики указывают на внезапное отложение чуждого материала в это время. Катастрофическое событие также отражено и в исторических хрониках, где упоминается о высоких волнах в 1076 г. Тяжелые коралловые окаменелые обломки и раковины, имеющие возраст старше 1024 г., были перемещены на расстояние более 200 м в глубь острова и захоронены на высоте около 6 м над уровнем моря. Эти материалы могут служить доказательством реальности катастрофических событий, таких как цунами или необычно сильные шторма. Важно отметить, что дата этого явления в общем коррелирует с проявлениями цунами на побережье Вьетнама в районе г. Фан Ранг (935±75 ВР, рис. 8). Еще одно событие, установленное на основании изучения песчаного горизонта с грубыми обломками белых кораллов и включениями гравия, произошло около 650 г., т.е. примерно 1300 лет назад.

Зимой 2015 г. в провинции Гуандонг КНР нами совместно с китайскими специалистами было проведено исследование прибрежной зоны Южно-Китайского моря с целью поиска следов древних цунами на южном побережье страны. Выполнено изучение нескольких бухт и двух островов на побережье юго-западной части КНР.

Так, в районе с. Дон Аучен (т. 13 с координатами 22° 49' 51.1" с.ш. и 115° 10' 38.7" в.д.) на высоте около 5 м над уровнем моря проведено изучение разреза современных отложений. Китайские геологи пробурили в этом месте две скважины. В разрезе под слоем

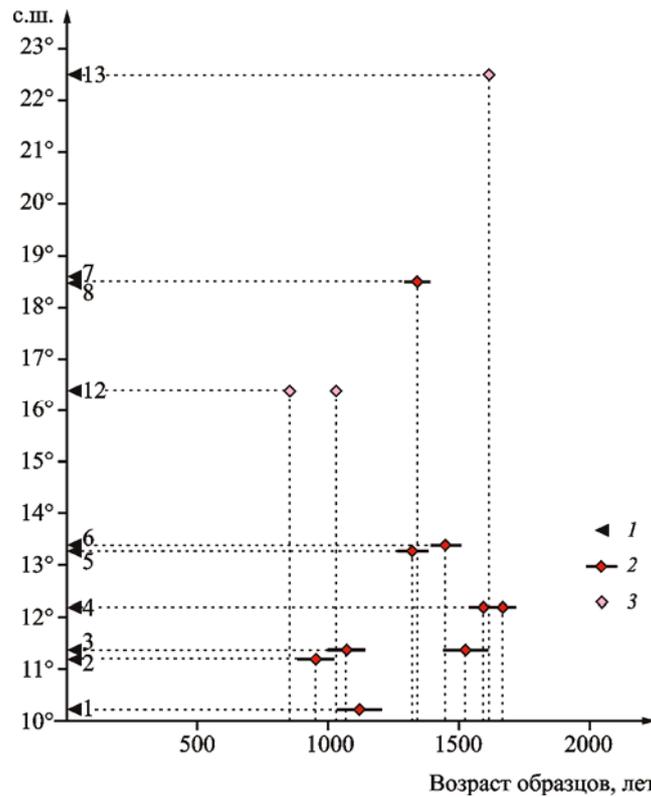


Рис. 8. Распределение возраста геологических образцов с периодом полураспада $T_{1/2} = 5730 \pm 30$ лет и положение точек наблюдения относительно градусной сетки

1 – положение и номера точек наблюдения (1 – Вунг Тау; 2 – Фан Тхьет; 3 – Фан Ранг; 4 – Нья Чанг; 5 – р. Кау; 6 – Кыа Ло; 7 – Диен Чау; 8 – Диен Чау; 12 – о. Донгдао; 13 – Дон Аучен); 2 – радиоуглеродный возраст образцов, отобранных на побережье (горизонтальными линиями показан разброс оценок); 3 – возраст палеоцунами на побережье и островах Китая

современной почвы (10–20 см) и толщей черной пластичной глины на глубине около 1 м найден невыдержанный по мощности (10–40 см) слой песка, при бóльшей мощности содержащий гальку. В этом слое обнаружены также остатки растений. Вероятно, это отложения высоких волн древнего цунами или аномально сильного тайфуна.

По историческим данным катастрофическое наводнение в этом районе имело место в древности. Здесь, у берега моря, после заплеска высоких волн, захлестнувших побережье, возможно, в результате цунами 26.06.1718 г. погибли более 10 тыс. человек. 300 км побережья с востока на запад было залито высокими волнами. После этого в двух пострадавших деревнях были построены буддистские храмы на средства императора провинции. По мнению населения и согласно надписям того времени на камнях (рис. 9), воду наслал Дракон (рис. 10). Вдоль берега бухты имеется пологий природный вал, отделяющий море от низкого берега. До формирования вала весь залив был заполнен водой. Позже большая его часть высохла и заполнилась толщей синей и черной пластичной глины. Именно в этой глинистой толще местами обнаруживается прослой светло-серого песка.

Отложения, вероятно, оставленные волнами цунами, обнаружены и в другом месте, вблизи южного берега провинции Гуандонг в КНР на о. Нань Пон. Здесь в т. 11 (см. рис. 1) с координатами $21^{\circ} 32' 57.9''$ с.ш. и $112^{\circ} 11' 22.2''$ в.д. на высоте около 7 м над уровнем моря в коллювиальном шлейфе у коренного обнажения гранитов обнаружена хорошо окатанная галька гранитного состава в красноцветном цементе. К сожалению, возраст этих отложений не определен.



Рис. 9. Древние каменные плиты (справа и в центре) с описанием катастрофического наводнения 1718 г. у стены храма в районе с. Дон Аучен и плиты с переводом на современный китайский язык (слева)



Рис. 10. Представление древних жителей провинции Гуандонг Китая о происхождении волн цунами 26.06.1718 г. (фреска на стене храма)

Обсуждение результатов

Собранные данные о проявлениях катастрофических наводнений на восточном побережье Вьетнама и в прибрежной зоне Южного Китая позволяют выяснить природу отложений, которые могут быть интерпретированы в качестве цунамигенных. Собранные датировки укладываются в три временных «коридора». Радиоуглеродная датировка отложений верхнего грубообломочного горизонта террасового комплекса в т. 4 (Нья Чанг) показала возраст около 340 ± 50 ВР. Эта датировка в целом отвечает времени наводнения в районе с. Дон Аучен (т. 13) – 1718 г. То есть можно наметить первый возрастной «коридор» – около 350 ВР. При этом охват побережья Южно-Китайского моря составлял на юге Китая около 300 км, а с учетом отложений на юге Вьетнама – около 1000 км. Высота волны при этом событии превышала 7 м.

Отложения с возрастом около 650 ВР обнаружены в точках 5, 6 и 7 (р. Кау, Кыя Ло и Диен Чау). Расстояние, охватываемое этими точками на восточном берегу Вьетнама, – более 700 км. Высота заплесков местами превышала 15 м.

Наконец, третий возрастной «коридор» намечается около 960 лет тому назад. Отложения, похожие на цунамигенные, найдены в точках 1, 2 и 3 (в районах Вунг Тау, Фан Тхьет, Фан Ранг) на побережье Южного Вьетнама, а также на о. Донгдао (арх. Ксиша) – 1024 г. Длина побережья, охваченного этими заплесками, составляет примерно 700 км. Высота волн, по-видимому, превышала 15 м.

В среднем период между этими проявлениями катастрофических волн составляет 250–350 лет. По длине охваченного ими побережья, измеряемой многими сотнями километров, а также по высоте заплесков изученные объекты могут быть отнесены к следам сильнейших цунами, а не тайфунов.

Конечно, сомнение в реальности опасности цунами на рассматриваемой нами территории может вызвать то, что многие упомянутые выше сильнейшие исторические землетрясения, произошедшие в восточной части Южно-Китайского моря, не сопровождались этим явлением. Здесь следует упомянуть, что далеко не все подводные высокомагнитудные сейсмические события являются цунамигенными. Так, при Симуширских землетрясениях с магнитудой более 8 на Средних Курилах 2006 и 2007 годов высота волн генерированных ими цунами на Гавайях, в Калифорнии, на о. Хоккайдо обычно не превышала 1.5 м, но в основном была значительно меньше [Лаверов и др., 2009; Старовойт и др., 2014]. Катастрофические волны возникают только при малой глубине очага и характере подвижки, обеспечивающем образование на дне моря высоких крутых уступов [Рогожин, Захарова, 2006].

Заключение

Приведенные в настоящей статье данные показали, что Южно-Китайское море и его ближайшее береговое обрамление, безусловно, являются опасными с точки зрения прихода цунами от сейсмоактивных зон Филиппин и Тайваня в первую очередь на западные и северо-западные прибрежные зоны Южно-Китайского моря.

Собранные сведения о палеоцунами позволяют датировать по меньшей мере три древних катастрофы, произошедших в течение последней 1000 лет (около 350, 650 и 960 ВР). Можно оценить высоту заплеска волн древних цунами. Она составляла более 7 м, а местами превышала 15 м. Такие параметры характерны и для современных цунами, порожденных сильнейшими землетрясениями недавнего прошлого (Камчатско-Северокурильским 1952 г., Чилийским 1960 г., Аляскинским 1964 г., Суматранским

2004 г., Тохоку 2011 г.). Протяженность охваченного волнами палеоцунами берега моря оценивается в несколько сотен (до первой тысячи) километров, что типично для современных катастроф этого типа и дает возможность отбраковать их от проявлений древних тайфунов, также характерных для региона. Характер изученных нами осадков палеоцунами схож с отложениями, оставленными современными цунами.

Для оценки опасности возникновения цунами и устойчивого прогнозирования этого катастрофического явления необходимо продолжить полевые исследования для выявления новых следов возникновения палеоцунами. Сведения о палеоцунами важно фиксировать на карте районирования угрозы цунами западной и северо-западной прибрежной полосы, а также островов Южно-Китайского моря. На такой карте можно отобразить сведения о наиболее опасных участках открытых бухт, низких побережий и оценить расстояние, на которое могут распространиться волны цунами различной высоты в глубь суши. Следует также отразить и некоторые природные объекты, препятствующие распространению цунами, такие как высокие косы, дюны, скальные выходы коренных пород и крупные острова. По совокупности указанных материалов изучаемую территорию можно будет районировать по степени уязвимости для цунами и предельно конкретизировать возможную опасность таких волн.

Благодарности

Автор выражает искреннюю благодарность докторам Нго Тхи Ли, Д.Т. Као, Шен Ксюехей (Shen Xuhui), Вэй Болин (Wei Bolin), Гуо Лиангтиан (Guo Liangtian) за организацию полевых исследований на Вьетнамском и Китайском побережьях Южно-Китайского моря, а также Н.В. Андреевой за помощь в доредакционной подготовке иллюстраций.

Литература

- Гусяков В.К. Математическое моделирование и информационное обеспечение в исследованиях по проблеме цунами: Дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Новосибирск, 2002. URL: <http://www.dissercat.com/content/matematicheskoe-modelirovanie-i-informatsionnoe-obespechenie-v-issledovaniyakh-po-probleme-t#ixzz3WEsew6Ji>
- Заякин Ю.А. Цунами на Дальнем Востоке России. Петропавловск-Камчатский: Камшат, 1996. 88 с.
- Лаверов Н.П., Лобковский Л.И., Левин Б.В., Рабинович А.Б., Куликов Е.А., Файн И.В., Томсон Р.Е. Курильские цунами 15 ноября 2006 г. и 13 января 2007 г.: Два тихоокеанских события // Докл. РАН. 2009. Т. 426, № 3. С. 386–392.
- Левин Б.В. Физика цунами и родственных явлений в океане. М.: Янус-К, 2005. 360 с.
- Мелекесцев И.В., Курбатов А.В. Частота крупнейших палеосейсмических событий на северо-западном побережье и в Командорской котловине Берингова моря в позднем плейстоцене–голоцене // Вулканология и сейсмология. 1997. № 3. С. 3–11.
- Мелекесцев И.В., Курбатов А.В., Певзнер М.М., Сулерджицкий Л.Д. Доисторические цунами и сильные землетрясения на полуострове Камчатском (Камчатка) по данным тефрохронологических исследований // Вулканология и сейсмология. 1994. № 5. С. 106–115.
- Мурти Т.С. Сейсмические морские волны цунами. М.: Гидрометеиздат, 1981. 448 с.
- Рейснер Г.И., Йогансон Л.И. Комплексная типизация земной коры как основа для решения фундаментальных и прикладных задач // Бюл. МОИП, отд. геол. 1997. Т. 72, вып. 3. С. 5–13.

- Рогожин Е.А.* Шикотанское землетрясение 1994 г.: Тектоническая позиция, геодинамические условия // Геотектоника. 1996. № 1. С. 33–46.
- Рогожин Е.А.* Глобальная природная катастрофа в Индийском океане // География. 2005. № 2. С. 8–13.
- Рогожин Е.А.* Землетрясение Тохоку 11.03.2011 г. ($M = 9.0$) в Японии: Тектоническая позиция очага, макросейсмические, сейсмологические и геодинамические проявления // Геотектоника. 2011. № 5. С. 3–16.
- Рогожин Е.А.* Очерки региональной сеймотектоники. М.: ИФЗ РАН, 2012. 340 с.
- Рогожин Е.А., Захарова А.И.* Сеймотектоника очаговых зон цунамигенных землетрясений // Геофизические исследования. 2006. Вып. 6. С. 3–12.
- Соловьев С.Л.* Повторяемость землетрясений и цунами в Тихом океане // Волны цунами. Южно-Сахалинск: СахКНИИ, 1972. Вып. 29. С. 7–47.
- Цунами // Атлас океанов. Т. 1. Тихий океан. Ленинград: ВМФ СССР, 1974. С. 29.
- Старовойт О.Е., Михайлова Р.С., Рогожин Е.А., Левина В.И.* Северная Евразия // Землетрясения Северной Евразии, 2007 г. Обнинск: ГС РАН, 2014. С. 14–40.
- Тунеголовец В.П.* Статистический метод прогноза интенсивности тайфунов // Тр. ДВНИГМИ. 1987. Вып. 138. С. 146–179.
- Cao Dinh Trieu, Rogozhin E.A., Ngo Thi Lu, Nguyen Huu Tuyen, Mai Xuan Bach, Le Van Dung, Nguyen Thanh Tung.* Tsunami could be attacked the Vietnam coast line in the ancient time // The report at 5th Vietnam Geoph. conf. Ho Chi Minh City, 2007. P. 172–181.
- Liguang Sun, Xin Zhou, Wen Huang et al.* Preliminary evidence for a 1000-years-old tsunami in the South China Sea // Sci. Rep. 2013. V. 3, N 1655. P. 1–5.
- Goto K., Fujino S., Sugawara D., Nishimura Y.* The current situation of tsunami geology under new policies for disaster countermeasures in Japan // Episodes. 2014. V. 37, N 4. P. 258–264.
- Ngo Thi Lu, Rogozhin E.A., Cao Đình Triêu.* Some geological manifestations of traces of prehistoric tsunamis along the coast of South Central Viet Nam // J. of Geology Dep. of Geol. and Minerals of Viet Nam. Ser. A. 2006. N 297/11-12. P. 24–29.
- Pinegina T.K., Bourgeois J.* Historical and paleo-tsunami deposits on Kamchatka, Russia: Long-term chronologies and long-distance correlations // Nat Hazard Earth Sys. 2001. N 1. P. 177–185.
- Pinegina T., Bourgeois J., MacInnes B.T., Kravchunovskaya E., Martin M., Razjigaeva N.* Paleotsunamis in the Middle Kuril Islands – implications for a seismic gap (and in view of recent events) // EOS Trans. AGU. V. 88 (52). Fall Meet. Suppl. 2007. Abstr. OS31A-0161.
- Reisner G.I., Ioganson L.I.* The extraregional seismotectonic method for the assessment of seismic potential // Nat. Hazards J. V. 14. Kluwer Acad. Publ., 1996. P. 3–10.
- Ren Y., Wen R., Song Y.* Recent progress of tsunami hazard mitigation in China // Episodes. 2014. V. 37, N 4. P. 277–283.
- Shishikura M.* History of the paleo-earthquakes along the Sagami through, Central Japan: Review of coastal paleoseismological studies in the Kanto region // Episodes. 2014. V. 37, N 4. P. 246–257.

Сведения об авторе

РОГОЖИН Евгений Александрович – доктор геолого-минералогических наук, профессор, заместитель директора, руководитель Координационного прогностического центра, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123995, ГСП-5, г. Москва, Д-242, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: +7 (499) 254-87-15. E-mail: eurog@ifz.ru

TRACES OF ANCIENT TSUNAMIS IN THE COASTAL PARTS OF THE SOUTH CHINA SEA

E.A. Rogozhin

Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. The results of geological and geomorphological investigations has shown that the Western and North-Western coastal zone of the South China Sea and its close coastal framing are dangerous from the point of view of tsunami from seismically active zones of the Philippines and Taiwan focal zones. The data collected on paleotsunami date, at least three such ancient disaster that occurred in the last one thousand years (about 350, 650, and 960 years ago). It is possible to estimate the height of these ancient tsunami waves. It was more than 7 meters and in some places exceeded 15 m. The length covered by the waves paleotsunami the coast is estimated at several hundred (up to thousand) of kilometers, which gives the opportunity to cull them from the manifestations of ancient typhoons, which are also characteristic of the region.

Keywords: tsunami, sediments, height of waves, age, the South China Sea.