

Актуальные проблемы

УДК 550.344.42

**ЭКСПЕДИЦИЯ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ПОСЛЕДСТВИЙ ЦУНАМИ
26 ДЕКАБРЯ 2004 ГОДА В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ СУМАТРЫ
И НА БЛИЗЛЕЖАЩИХ ОСТРОВАХ**

© 2005 В.К. Гусяков¹, Т.К. Пинегина², В.А. Салтыков^{3,4}

¹ *Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, 630090;*

² *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006;*

³ *Камчатский филиал Геофизической Службы РАН, Петропавловск Камчатский, 683006;*

⁴ *Камчатский государственный педагогический университет, Петропавловск-Камчатский, 683032.*

Адрес для переписки: 683006, Петропавловск-Камчатский, бул. Пийпа, 9, Институт вулканологии и сейсмологии, e-mail: pinegtk@kcs.iks.ru.

После катастрофического землетрясения 26 декабря 2005 г с магнитудой 9.0 в Юго-Восточной Азии в районы, попавшие под действие цунами, оперативно были направлены научные экспедиции. Их цель – комплексная оценка последствий цунами. Представлены материалы международной экспедиции ЮНЕСКО на северную Суматру и близлежащие острова.

ВВЕДЕНИЕ

Землетрясения с магнитудой более 8 возникают на Земле в среднем один раз в год, поэтому наблюдавшуюся в конце 2004 – начале 2005 вспышку сейсмичности на восточной окраине Индо-Австралийской плиты следует рассматривать как экстраординарное явление. Первое в этой цепочке сильнейших землетрясений зарегистрировано около о. Маккуори (между Австралией и Антарктидой) 23 декабря 2004 г. Землетрясение с магнитудой $M_w=8.1$ произошло на стыке Тихоокеанской и Индо-Австралийской плит в 14:59 (UTC), координаты гипоцентра: широта $\varphi=50.14^\circ$ ю.ш., долгота $\lambda=160.36^\circ$ в.д., глубина $h=10$ км (http://neic.usgs.gov/neis/eq_depot/2004/eq_041223/). Это землетрясение стало сильнейшим на планете за последние несколько лет, однако прошло практически незамеченным в силу удаленности от населенных мест, отсутствия разрушений и цунами.

Всего через три дня в северо-восточной части Индийского океана произошло землетрясение, которое не просто стало сильнейшим на Земле за 40 лет, но по своим последствиям, а именно человеческим жертвам, стало величайшим стихийным бедствием за последние несколько веков.

Суматро-Андоманское землетрясение произошло 26 декабря 2004 г. в 00:58 (UTC) и имело моментную магнитуду $M_w=9.0$ (<http://www.seismology.harvard.edu/CMTsearch.html>). Таким образом, по своей энергии это событие разделило 4-5 места с Камчатским землетрясением 1952 г. в рейтинге сильнейших землетрясений планеты с 1900 г. Инструментальный гипоцентр располагался в точке с координатами $\varphi=3.30^\circ$ с.ш., $\lambda=95.96^\circ$ в.д., $h=30$ км (http://neic.usgs.gov/neis/eq_depot/2004/eq_041226/), к западу от севера о-ва Суматра. Однако следует иметь в виду, что очаг землетрясения имел протяженность более тысячи километров и в поперечнике



Рис. 1. Карта территории, оказавшейся под воздействием катастрофических землетрясений.

несколько сотен километров (рис. 1). Механизм землетрясения надвиг с углом наклона сместителя 8° . Землетрясение ощущалось на севере острова Суматра (Индонезия) интенсивностью IX баллов - г. Банда-Ачех, VIII баллов - г. Мелабо, IV балла - г. Медан; в отдельных частях Бангладеша, Индии, Малайзии, Мальдив, Бирмы, Сингапура, Шри Ланки, Таиланда - III - V баллов. Однако основные разрушения и жертвы

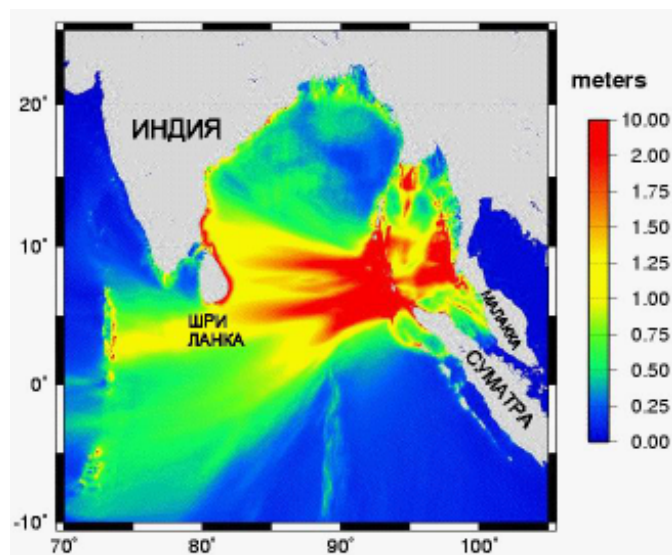


Рис. 2. Максимальная высота цунами 26 декабря 2004 г. при распространении в океане и при подходе к берегу. Моделирование цунами проведено А. Питанеси (A. Piatanesi) (Италия) (<http://www.ingv.it/%7eteroma/reti/rms/terremoti/estero/indonesia/indonesia.htm>).

связаны не с самим землетрясением, а с сопровождавшим его цунами. Большая часть погибших от землетрясения (общее число жертв 283 100 человек по данным на март 2005 г. (http://neic.usgs.gov/neis/eq_depot/2004/eq_041226/)) отнесена именно к цунами, которое обрушилось на побережье не только Индонезии, но и Таиланда, Индии, Шри Ланки и других стран, вплоть до Кении и Сомали (рис. 2).

И последним из категории сильнейших стало землетрясение 28 марта 2005 г. 16:09 (UTC) (магнитуда $M_w=8.7$, инструментальный гипоцентр: $\varphi=2.07^\circ$ с.ш., $\lambda=97.01^\circ$ в.д., $h=30$ км). Его очаг примкнул с юга к очагу землетрясения 26.XII.2005 г. (<http://earthquake.usgs.gov/eqinthenews/2005/usweax/>) (рис.1). Цунами от этого землетрясения не было таким сильным как предыдущее, но здесь возникли тяжелые последствия, вызванные непосредственно сейсмическим воздействием: под завалами погибло более 1000 человек, большие разрушения произошли на островах Ниас и Симелу, уже пострадавших от цунами 26 декабря 2004 г.

В данной работе мы хотим остановиться на первых результатах экспедиции под эгидой ЮНЕСКО, которая проводилась в январе 2005 г., в период между двумя разрушительными землетрясениями, на северо-западе Индонезии с целью оценки последствий катастрофического цунами 26.XII.2004 г.

ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЕДИЦИИ

По существующему положению Межправительственной Океанографической Комиссии ЮНЕСКО (The Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO) в течение двух недель после возникновения цунами в районы его проявления должны быть направлены экспедиции для обследования последствий и измерения параметров цунами. Срочность проведения таких экспедиций обусловлена необходимостью провести замеры на объектах, следы цунами на которых могут исчезать достаточно быстро в результате различных причин (начиная с тропических ливней и заканчивая новыми стихийными бедствиями, что и произошло в нашем случае с островами Ниас и Симелу). С другой стороны, научные изыскания не должны мешать проведению спасательных работ.

От России в экспедицию ЮНЕСКО вошла группа из четырех ученых: руководитель д.ф.-м.н. В.К. Гусяков (ИВМиМГ СО РАН, г. Новоси-



Рис. 3. Наша команда. Слева направо: В. Кингко, В.К. Гусьяков, В.А. Чернобров, Т.К. Пинегина, В.А. Салтыков, Д.К. Истиянто.

бирск), к.г.н. Т.К. Пинегина (ИВиС ДВО РАН г. Петропавловск-Камчатский), к.ф.-м.н. В.А. Салтыков (КФ ГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский), В.А. Чернобров (Фонд «Космопоиск», г. Москва) (рис. 3). Кроме нашей группы в экспедиции ЮНЕСКО на северо-западе Индонезии приняли участие ученые из Турции и США. В этом же районе предполагала рабо-

тать еще одна группа из России (руководитель В.М. Кайстренко, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН) и японская группа. Со стороны Индонезии активное участие в организации и проведении объединенной международной экспедиции по исследованию цунами приняли Министерство рыболовства и судоходства (Ministry of Fisheries and Marine Affairs) и Метеорологическое и Геофизическое Агентство (Meteorological and Geophysical Agency). Именно благодаря координации усилий удалось в течение достаточно короткого времени охватить исследованиями максимально большую территорию.

На организационном семинаре в Джакарте для нашей группы, куда были включены двое индонезийских ученых Динар Катур Истиянто (Dinar Catur Istiyanto) и Виджо Кингко (Widjo Kingko), были определены следующие объекты исследования (рис.4): остров Ниас, города Сиболга, Сигли, Банда Ачех и их окрестности. Другие группы должны были исследовать о. Симелу (ближайшая к очагу суша), города Мелабо, Медан, Банда Ачех. Таким образом, с учетом



Рис. 4. Карта западной части Индонезии с отмеченными районами исследований.

доступности (так как во многих местах были разрушены дороги и мосты), были запланированы работы во всей зоне, где цунами проявилось достаточно ярко.

Результаты работ будут занесены в базы данных и будут доступны ученым, специализирующимся по проблемам цунами как фундаментального, так и прикладного характера, в частности, при решении задач цунамибезопасности.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Город СИБОЛГА. Город Сиболга находится примерно в 400 км к югу от эпицентральной зоны.

Землетрясение в Сиболге, а также в соседних городах Барусе и Пасарсоркаме ощущалось слабо. Сиболга располагается в восточной части залива Телук Тапанули. Широкий и пологий шельф протянулся здесь свыше чем на 70 км. Глубины на большей части шельфа не превышают 50 м, встречаются обширные мели и небольшие острова. Вдоль побережья западной Суматры на расстоянии 100-140 км вытянулась цепочка крупных островов. С севера на юг расположены Симелу, Ниас, Танахбала, Сиберут, Сипура, Пагаи, Селатан (последние четыре образуют острова Ментавайи). Таким образом, острова и широкий мелкий шельф в некоторой мере защищают западное побережье Суматры от прямого воздействия цунами.

Пасарсоркам находится в 20 км к северу от Сиболги, Барус находится в 30 км к северу от Пасарсоркама. Побережье вдоль всего обследованного участка (свыше 60 км) представляет собой низкую морскую аккумулятивную террасу высотой 1.5-3 м над уровнем моря. Современный береговой вал обычно причленен к морской террасе, древние валы почти везде отсутствуют. В целом, геоморфологическое строение берега свидетельствует о преобладании отрицательных тектонических движений в голоцене.

По словам очевидцев, в течение нескольких часов после землетрясения море в районе Сиболги Пасарсоркама Баруса было спокойным. По данным мареографа, находящегося в пассажирском порту Сиболги, волна цунами подошла в этот район около 9:40 по местному времени (временной сдвиг относительно UTC +7 час.), и ее высота была не более 60 см. В связи с этим, цунами оказалось практически никем не замечено. Более высокая волна подошла в

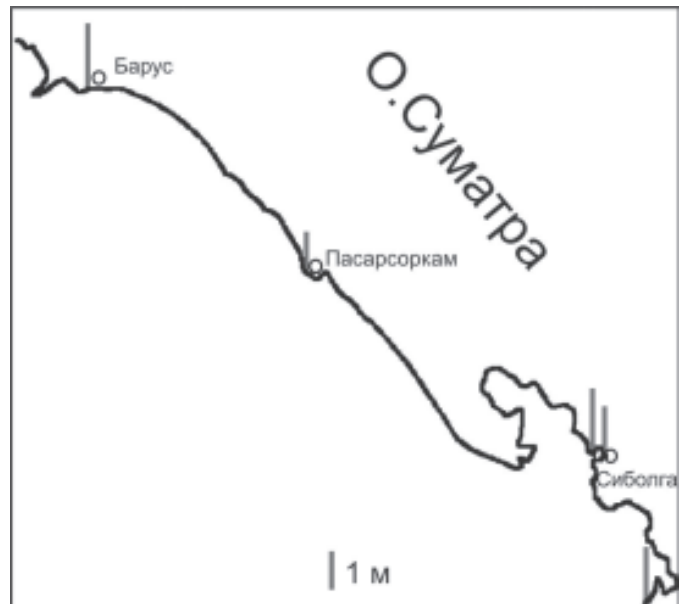


Рис. 5. Распределение высот цунами на побережье западной Суматры в районе городов Барус Сиболга.

12:40, а максимальный уровень воды наблюдался в 14:00 15:00. Цунами проявилось здесь в виде спокойного подтопления. Во время подтопления не возникло сильных вдольбереговых и приливных течений: суда и лодки, находившиеся в порту, практически не пострадали и не были сорваны с якорей. Сначала уровень моря медленно опустился примерно на 2 м, многие суда при этом легли на борт, затем уровень моря так же медленно поднялся до отметки 1.5 - 1.7 м. Высота воды при подтоплении на берегу составила 0.5 - 1.0 м (рис.5).

Остров НИАС. Остров Ниас самый крупный из островов архипелага, протянувшегося вдоль западной Суматры. Ниас расположен более чем в 100 км в западу от Суматры, его наибольшая протяженность с севера на юг 112 км, с запада на восток 40 км. Шельф с западной стороны острова довольно узкий (7-20 км), уступ крутой, резко опускается до глубин 5000 м.

Первая волна цунами подошла к острову примерно через полтора часа. Всего, по словам очевидцев, было 3-4 волны. Во время цунами на острове погибло 178 человек, так как большинство населения покинуло прибрежные участки и спаслось на холмах.

Наиболее всего от цунами пострадали деревни Сиромбу и Медрехе на западном побережье острова. Большинство домов здесь были разрушены. Деревня Медрехе находится в джунглях, пути эвакуации у населения не было, люди были вынуждены спасаться на



Рис. 6. Джунгли на западном побережье о. Ниас. Расстояние до берега около 2 км. На устоявших деревьях видны следы цунами (нарушение коры, нанесенный мусор) на высоте более 3 м. Следует отметить, что растительность сильно пострадала и от отравления соленой водой.

пальмах. Во время цунами здесь погибло около 150 человек. Высота цунами по данным наших измерений составила около 5 м, скорость потока, судя по вывороченным пальмовым деревьям и разрушениям построек была очень высокой (рис. 6). На отдельных участках волна прошла в глубь берега на 2-2.5 км. На побережье в районе деревни Медрехе видны следы опускания суши во время землетрясения. Судя по затопленным корням пальмовых деревьев, а также по оказавшемуся под водой фундаменту

разрушенной церкви, амплитуда опускания составила около 1 м.

На севере и юге острова высота цунами не превышала 3.8 м (рис. 7), здесь так же были разрушены постройки, но пострадавших было значительно меньше. На восточном побережье цунами проявилось в виде медленного подтопления и не превысило 1.5 м.

Город БАНДА АЧЕХ. Северо-западное побережье Суматры (провинция Ачех) пострадало от цунами в значительно большей степени, по сравнению с другими регионами Юго-Восточной Азии. Столица провинции город Банда Ачех, имевший до катастрофы население более 300 000 человек, располагался на прибрежной равнине и имел плотную застройку, что и определило его участь. Непосредственно от землетрясения в Банда Ачехе было разрушено всего несколько домов, по-видимому, из-за низкого качества строительства. В пользу этого свидетельствует тот факт, что по соседству с разрушенными зданиями стоят абсолютно не поврежденные. Можно предположить, что официальная оценка интенсивности землетрясения в Банда Ачехе (IX баллов) будет пересмотрена в существенно меньшую сторону.

Первая волна подошла спустя 15-20 минут после землетрясения. Население ничего не знало о возникновении цунами, поэтому ника-



Рис. 7. Распределение высот цунами на побережье о. Ниас.



Рис. 8. Панорамный вид (угол обзора 180°) на зону полного разрушения (г. Банда Ачех). Расстояние до берега около 3 км.

кие активные действия по самоспасению не предпринимались. По словам немногих выживших очевидцев, самой высокой была третья волна. В результате цунами был практически полностью разрушен г. Банда Ачех и ряд соседних поселков (рис.8). Здесь погибло около 150 тыс. человек, точное количество не известно. На момент нашего пребывания в районе, во многих местах еще не приступали к расчистке



Рис. 9. Местность южнее г. Банда Ачех. Видно полное уничтожение растительности на склонах холмов до высоты 15-20 м. По нарушениям коры на немногих уцелевших деревьях можно судить о высоте заплесков в данном месте.

завалов, в которых все еще находились погибшие. Цунами распространялось с огромной скоростью, ломая на своем пути стволы деревьев и постройки. Водой была затоплена суша до уровня 15-20 м. Высоты отдельных заплесков (при набегании волны на крутой склон или преграду), по данным последующих измерений, превысили 30 м. Максимальная высота заплеска, замеренная в 15 км к югу от Банда Ачеха, составила 34.6 м. Высота морской террасы, на которой стоит Банда Ачех, 3-5 м. Цунами подошло к городу с двух сторон с севера и с запада, затопив прибрежную полосу шириной в 5 км, а в отдельных местах в 10 км. На расстоянии в 2-3 км от берега были разрушены и перенесены в глубь берега практически все постройки, обломаны или вырваны из грунта громадные деревья. Бетонные и каменные блоки силой волн были раздроблены в крошку. Поток с поверхности земли был содран грунт, в рельефе промыты борозды и каналы, шириной в 5-10 и глубиной в несколько метров. Склоны гор до высоты 15-20 м оголились (рис. 9). На расстоянии 3-5 км от берега поток воды был настолько сильно нагружен несомым материалом, что представлял собой скорее не водный, а грязевой поток или лахар. В ходе землетрясения, побережье севера Суматры испытало косейсмическое опускание. Локально прибрежные формы рельефа были размывы и эродированы цунами. На эти процессы наложился просадки грунтов. Суммарное опускание прибрежной суши по нашим оценкам, составляет 2-3 м.

Город СИГЛИ. Город Сигли расположен в 70 км к юго-востоку от г. Банда Ачех в дельте реки на высоте 1.5 м над уровнем моря. Высота цунами здесь не превышала 4 - 5 м, однако город пострадал очень сильно. Многие дома разрушены полностью, во многих выбиты стены,



двери, окна. Город был затоплен на 2 - 3 км в глубь берега, принесенный с берега мусор и ил откладывались на удалении 1.0 - 1.5 км от берега, заполняя улицы и дома. Возле Сигли раньше существовало множество рыбозаводных ферм, все они также разрушены, искусственные водоемы после цунами были занесены толстым слоем ила и песка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цунами, произошедшее 26 декабря 2004 г и унесшее жизни почти 300 тысяч человек, явилось не только одним из самых крупных в истории человечества, но и первым историческим транс-океаническим событием в Индийском океане. Помимо острова Суматра, от этого события пострадали Таиланд, Шри-Ланка, Индия, Мальдивы, Африка (даже там высота цунами достигала 3-4 м). Несомненно, что в геологическом прошлом такие события уже случались, но в настоящее время нет ни-

каких данных о периоде их повторяемости. И этот пробел необходимо восполнить, что требует организации дальнейших экспедиций. Но это дело будущего. Что же касается полевых работ, проведенных сразу после катастрофы учеными многих стран в пострадавших районах Юго-Восточной и Южной Азии, то следует отметить оперативность организации экспедиций. Полученные в их ходе данные после детальной обработки будут занесены в научные базы данных и будут использованы не только при решении фундаментальных научных проблем, связанных с цунами, но, в первую очередь, будут полезны при проведении цунамирайонирования и выработке рекомендаций, которые должны уменьшить риск и последствия таких природных явлений в будущем.

Обработка полевого материала проводилась при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант РФФИ №03-05-64584)

EXPEDITION FOR ASSESSMENT OF DECEMBER 26, 2005 TSUNAMI CONSEQUENCES IN THE NORTHERN SUMATRA AND NEIGHBORING ISLANDS

V.K. Gusiakov¹, T.K. Pinegina², V.A. Saltykov^{3,4}

¹ *Institute of computational mathematics and mathematical geophysics SD RAS, Novosibirsk, 630090;*

² *Institute of volcanology and seismology FED RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006;*

³ *Kamchatkan Branch of Geophysical Survey RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006;*

⁴ *Kamchatkan state pedagogical university, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683032.*

After catastrophic earthquake on December 26, 2005 M=9.0 in the South-Eastern Asia scientific expeditions were sent to the area which was affected by tsunami. Their purpose was to study complex assessment of tsunami consequences. This paper presents data and previous results of the international tsunami survey team of UNESCO to the northern Sumatra and neighboring islands.