

Экспедиция ЮНЕСКО по следам индонезийской катастрофы 2004 года

К годовщине землетрясения у берегов Суматры

В.К.Гусяков,

доктор физико-математических наук

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
Новосибирск

Т.К.Пинегина,

кандидат географических наук

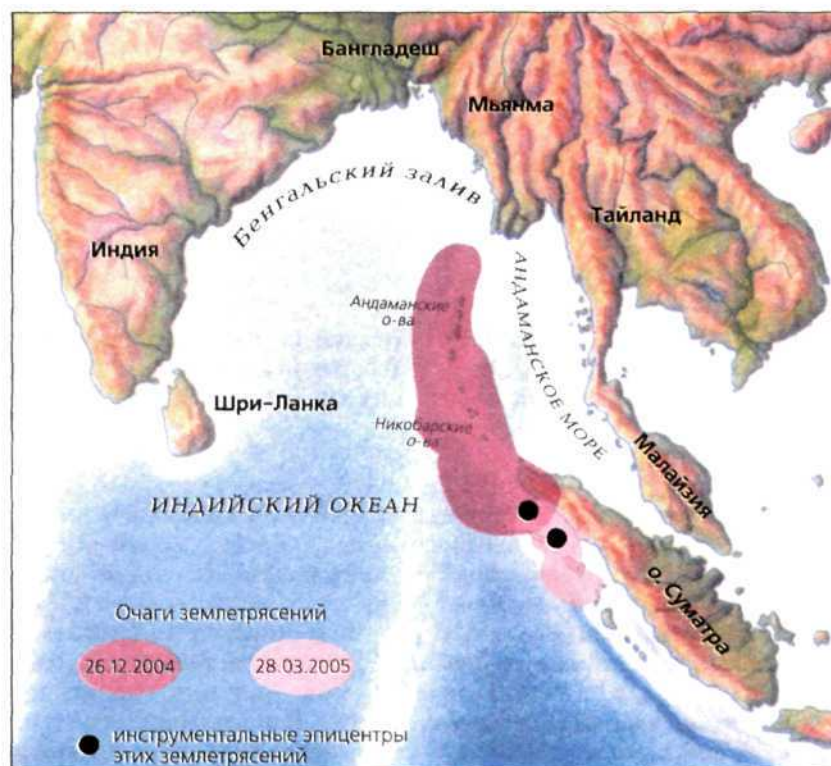
Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН

В.А.Салтыков,

кандидат физико-математических наук

Камчатский филиал Геофизической службы РАН
Петропавловск-Камчатский

Землетрясения с магнитудой более 8 возникают на Земле в среднем один раз в год. Наблюдавшуюся же в конце 2004 – начале 2005 г. вспышку сейсмичности на восточной окраине Индо-Австралийской плиты следует рассматривать как экстраординарное явление. Первое сильнейшее землетрясение в этом регионе было зарегистрировано 23 декабря 2004 г. около о.Маккуори (между Австралией и Антарктидой). Событие с магнитудой $M_s = 8.1$ произошло на стыке Тихоокеанской и Индо-Австралийской плит. Координаты гипоцентра – 50.14° ю.ш., 160.36° в.д., глубина $h = 10$ км [1]. Одно из сильнейших за последние несколько лет, землетрясение прошло практически незамеченным в силу удаленности от населенных мест, отсутствия разрушений и цунами. Но всего через три дня в северо-восточной части Индийского океа-

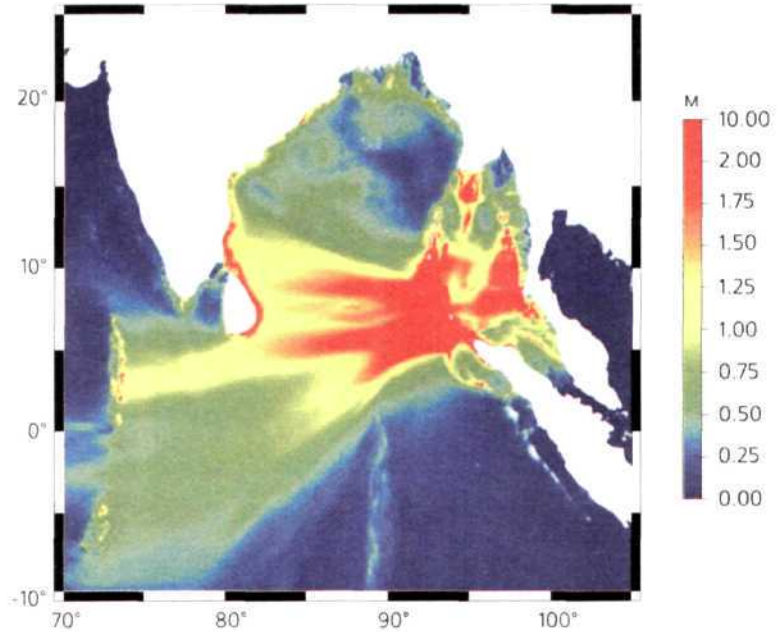


Расположение очагов землетрясений у берегов о.Суматра в декабре 2004 г. и марте 2005 г.

© Гусяков В.К., Пинегина Т.К.,
Салтыков В.А., 2006

на случилось землетрясение, которое стало не просто сильнейшим на Земле за 40 лет, но по своим последствиям (а именно, человеческим жертвам) оказалось величайшим стихийным бедствием за последние несколько веков [2].

Суматро-Андаманское землетрясение 26 декабря 2004 г. имело моментную магнитуду $M_w = 9.0$ [3]. Таким образом, по своей энергии это событие разделило четвертое-пятое места с Камчатским землетрясением 1952 г. в рейтинге сильнейших землетрясений планеты с 1900 г. [2. С.36–43; 4]. Его инструментальный гипоцентр располагался в точке с координатами 3.30° с.ш., 95.96° в.д., $b = 30$ км, к западу от северной оконечности о. Суматры [5]. Следует напомнить, что очаг землетрясения имел протяженность более тысячи километров, а в поперечнике — несколько сотен километров. Механизм землетрясения — надвиг с углом наклона сместителя 8° . Однако основные разрушения и жертвы были связаны не с самим землетрясением, а с сопровождавшим его



Модель цунами, обрушившегося на Индонезию и другие страны Юго-Восточной Азии в декабре 2004 г. [7].

цунами [2]. Большая часть погибших (общее число жертв — 283 100 человек) отнесена именно к цунами, которое обрушилось на побережье не только Индонезии, но и Таиланда, Ин-

дии, Шри-Ланки и других стран, вплоть до Кении и Сомали.

В этом регионе 28 марта 2005 г. произошло еще одно землетрясение из категории сильнейших. Его магнитуда —



Группа российских и индонезийских ученых, участвовавших в экспедиции ЮНЕСКО в Индонезии.

Таблица
Высота цунами на островах Суматра и Ниас

Пункт	Северная широта	Восточная долгота	Тип измерения	Высота, м	Комментарии
Суматра					
Локсемаве	5.2494	96.9128	I	2.90	Водная отметка на стене
Локсемаве	5.2347	97.0597	I	1.70	Наблюдения очевидцев
Сиболга (рыбный порт)	1.7183	98.7971	I	1.60	Водная отметка на стене, 310 м от берега
Сиболга (рыбный порт)	1.7193	98.7951	I	1.63	Водная отметка на стене, 75 м от берега
Сиболга (пассажирский порт)	1.7289	98.7852	I	1.50	Наблюдения очевидцев
Сиболга (мареограф)	1.7288	98.7852	T	2.60	Максимальный уровень воды в 14.00
К югу от Сиболги	1.6636	98.8257	I	1.50	Наблюдения очевидцев
Пасарсоркам	1.8712	98.5651	I	1.00	Водная отметка на двери
Барус	2.0082	98.4027	R	1.70	Заплеск на берегу
Сигли	5.3871	95.9639	I	4.40	Водная отметка в доме, 35 м от берега
Сигли	5.3882	95.9629	I	4.00	Водная отметка на доме, 50 м от берега
Сигли	5.3881	95.9624	I	3.50	Водная отметка на доме, 110 м от берега
Сигли	5.3880	95.9619	I	3.10	Водная отметка на доме, 160 м от берега
Ниас					
дер.Муаве	1.4012	97.2124	R	2.80	Заплеск на берегу, 1.45 км к востоку от Муаве
дер.Муаве	1.3958	97.1700	I	3.80	Водная отметка на двери
дер.Медрехе	1.0032	97.4047	R	1.50	Точка максимального затопления
дер.Муаве	1.0077	97.4050	I	3.50	Водная отметка на дереве в джунглях
дер.Муаве	1.0158	97.3933	I	4.50	Плавник на дереве возле берега
дер.Сиромбу	0.9569	97.4244	I	2.00	Точка максимального затопления 915 м
дер.Сиромбу	0.9514	97.4189	I	4.60	Водная отметка на двери
дер.Сиромбу	1.0075	97.4050	I	5.30	Уровень высоты плавника
дер.Сиромбу	1.0042	97.4086	I	4.50	Уровень высоты плавника
дер.Сиромбу	0.9508	97.4214	I	4.65	Уровень высоты плавника
дер.Хилирихоно	0.5742	97.7316	I	2.50	Водная отметка на стене. Максимальное затопление 400 м
дер.Хилирихоно	0.5680	97.7090	I	2.90	Водная отметка на стене
Гунунгситоли	1.2880	97.6090	I	1.50	Наблюдения очевидцев

R — высота заплеска, I — уровень воды при затоплении, T — данные мареографа.

Все высоты откорректированы на нулевой уровень моря по таблицам приливов–отливов.

$M_s = 8.7$, координаты инструментального гипоцентра — 2.07° с.ш., 97.01° в.д., $h = 30$ км. Очаг мартовского события прикнул с юга к очагу землетрясения 26 декабря 2004 г. [6]. Цунами от этого землетрясения было существенно слабее предыдущего, но под завалами, вызванными непосредственно сейсмическим воздействием, погибло более тысячи человек, большие разрушения произошли на островах Ниас и Симёлуэ (уже пострадавших от цунами 26 декабря 2004 г.).

Мы расскажем о результатах экспедиции под эгидой ЮНЕСКО, которая проводилась на северо-западе Индонезии в январе 2005 г., в период между двумя разрушительными землетрясениями.

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 (см. табл.). Следы цунами исчезают достаточно быстро вследствие различных причин — начиная с тропических ливней и заканчивая новыми стихийными бедствиями (что и произошло с островами Ниас и Симёлуэ).

От России в экспедицию ЮНЕСКО вошла группа в составе В.К.Гусякова (руководитель), Т.К.Пинегиной, В.А.Сал-

тыкова и В.А.Черноброва (Фонд «Космопоиск», Москва). Кроме нас принимали участие ученые из Турции и США. В этом же районе работала еще одна группа из России под руководством В.М.Кайстренко (Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН) и специалисты из Японии. Со стороны Индонезии активное участие в организации и проведении объединенной международной экспедиции приняли Министерство рыболовства и судоходства (Ministry of Fisheries and Marine Affairs) и Метеорологическое и геофизическое агентство (Meteorological and Geophysical Agency). Именно благодаря совместным усилиям различных ведомств удалось в течение достаточно короткого

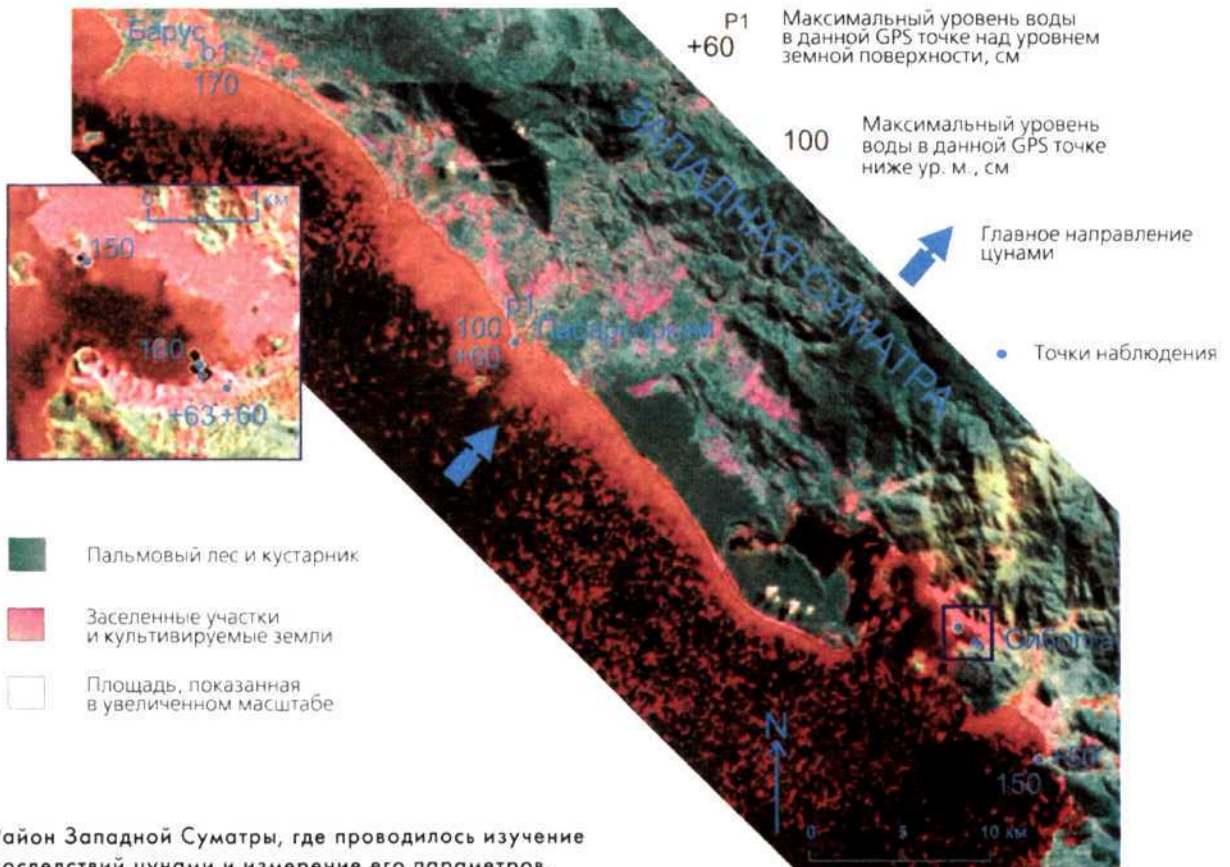
времени исследовать максимально большую территорию.

На организационном семинаре в Джакарте для нашей группы, куда были включены и индонезийские ученые Динар Катур Истиянто (Dinar Sатур Istiyanto) и Виджо Кингко (Widjo Kingko), определили следующие объекты исследования: о. Ниас, города Сиболга, Сигли, Банда-Ачех и их окрестности. Другие группы осматривали о. Симёлуэ (ближайшая к очагу суша), города Мёлабох и Медан. Таким образом, с учетом доступности (так как во многих местах были разрушены дороги и мосты), запланированные работы охватывали всю зону, где цунами проявилось достаточно ярко.

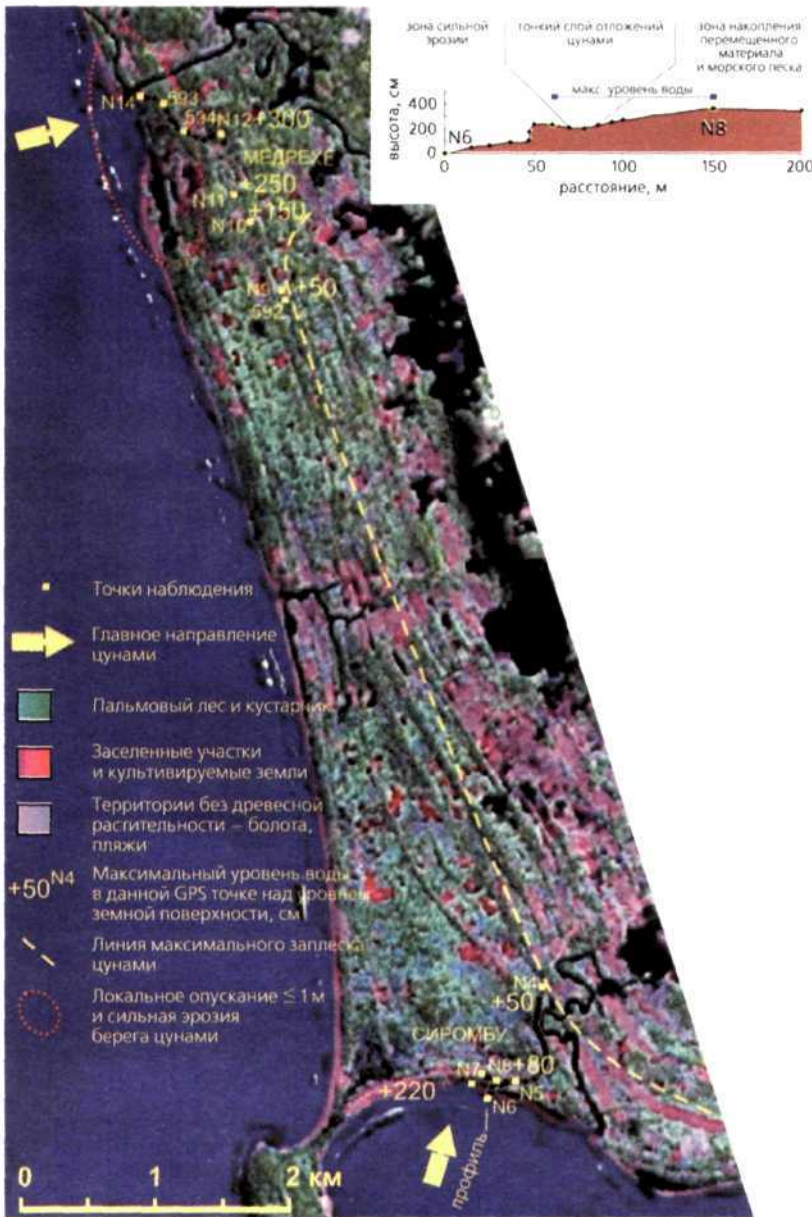
Сиболга находится примерно в 400 км к югу от эпицентральной зоны. Здесь, а также в соседних городах Пасарсоркаме (в 20 км севернее) и Барусе (в 50 км к северу) землетрясение ощущалось слабо. Эти горо-



Города и острова Индонезии, где работала международная экспедиция.



Район Западной Суматры, где проводилось изучение последствий цунами и измерение его параметров.



Параметры цунами, измеренные на о. Ниас, в районе деревень Сиромбу и Медрехе.

да располагаются 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 Симелуэ, Ниас, Танахбала,

Сиберут, Сипура, Пагаи, Селатан (последние четыре образуют архипелаг Ментавайи). Таким образом, острова и широкий мелкий шельф в какой-то мере защищают западное побережье Суматры от прямого воздействия цунами.

Побережье вдоль всего обследованного участка (свыше 60 км) представляет собой террасу высотой 1.5–3 м над ур.м. Вершина современного берего-

вого вала обычно выше террасы. В целом же геоморфологическое строение берега свидетельствует о преобладании отрицательных тектонических движений в голоценовом периоде.

По словам очевидцев, в течение нескольких часов после землетрясения море в этом районе было спокойным. По данным мареографа, находящегося в пассажирском порту Сиболги, цунами подошло сюда около 9 ч 40 мин по местному времени (временной сдвиг относительно UTC +7 ч), его высота была не более 60 см. И оно оказалось практически никем не замеченным. Более высокая волна подошла в 12 ч 40 мин, а максимальный уровень воды наблюдался с 14.00 до 15.00. Цунами проявилось здесь в виде спокойного подтопления, при котором сильных вдольбереговых и приливных течений не возникло. Корабли и лодки, находившиеся в порту, практически не пострадали, и их даже не сорвало с якорей. Сначала уровень моря медленно опустился примерно на 2 м, многие суда при этом легли на борт, затем море так же медленно поднялось до отметки 1.5–1.7 м. Высота воды при подтоплении на берегу составила 0.5–1 м.

Ниас — самый крупный (его наибольшая длина с севера на юг 112 км, с запада на восток — 40 км) из островов архипелага, протянувшегося в 100 км к западу вдоль о. Суматры. Шельф с западной стороны острова довольно узкий (7–20 км), уступ крутой, резко опускающийся до глубины 5000 м.

Первая волна цунами подошла к острову примерно через полтора часа. Всего, по словам очевидцев, было три-четыре волны. Во время цунами на острове погибло 178 человек. Большинство же населения покинуло прибрежные участки и спаслось на холмах.

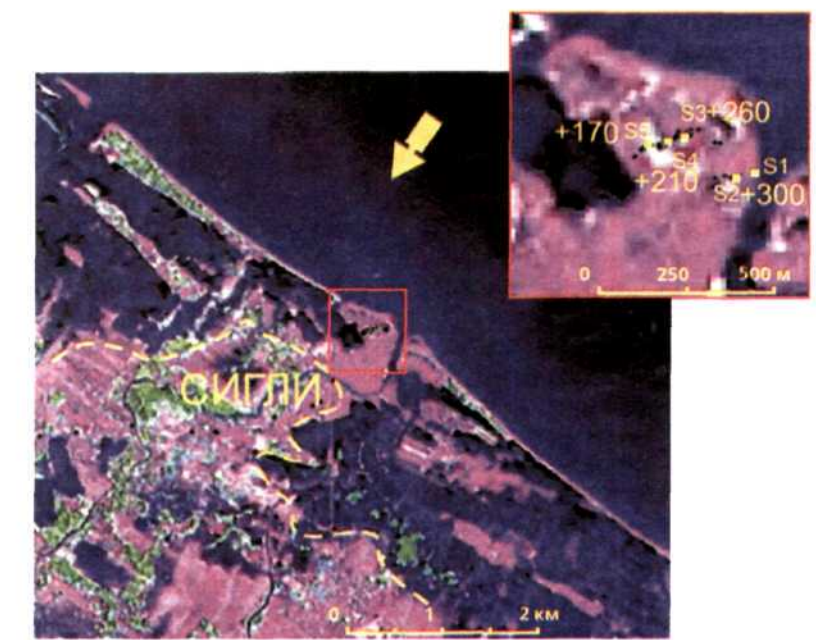
Сильнее всего от цунами пострадали деревни Сиромбу и Медрехе на западном побережье острова. Дома в них раз-

рушились. Деревня Медрехе находится в джунглях, пути для эвакуации у населения не было, люди спасались на пальмах. Во время цунами здесь погибло около 150 человек. Высота цунами, по данным наших измерений, составила около 5 м, скорость потока, судя по вывороченным деревьям и разрушенным постройкам, была очень высокой. На отдельных участках волна прошла в глубь берега на 2–2.5 км. На побережье видны следы опускания суши. Амплитуда опускания, определенная по затопленным корням пальм и по оказавшемуся под водой фундаменту разрушенной церкви, составила около 1 м.

На севере и юге острова высота цунами не превышала 3.8 м. Здесь также разрушились постройки, но человеческих жертв было значительно меньше. На восточном побережье цунами проявилось в виде медленного подтопления и не превысило 1.5 м.

Банда-Ачех. Северо-западное побережье Суматры (провинция Ачех) пострадало от цунами гораздо сильнее других регионов Юго-Восточной Азии. Столица провинции — Банда-Ачех, имевшая до катастрофы население более 300 тыс. человек, располагается на прибрежной равнине. Непосредственно от землетрясения в городе разрушилось всего несколько домов, по-видимому, из-за низкого качества строительства (по соседству с разрушенными зданиями стоят абсолютно неповрежденные). Скорее всего, официальная оценка интенсивности землетрясения в Банда-Ачехе (IX баллов) будет существенно пересмотрена в меньшую сторону.

Первая волна подошла спустя 15–20 мин после землетрясения. Население ничего не знало о возникновении цунами, поэтому никаких активных действий не предпринималось. По словам немногих выживших, самой высокой была третья волна. В результате цунами столица



- Главное направление цунами
- Площадь, показанная в увеличенном масштабе
- Точки замеров
- Пальмовый лес и кустарник
- Заселенные участки и культивируемые земли
- Максимальный уровень воды в данной GPS точке над уровнем земной поверхности, см
- Линия максимального заплеска цунами

Параметры цунами, измеренные в окрестностях г.Сигли. Высота цунами здесь не превышала 4–5 м.

провинции была практически полностью разрушена. Здесь погибло около 150 тыс. человек. На момент нашего пребывания в районе во многих местах еще не приступали к расчистке завалов, в которых все еще находились люди. Цунами распространялось с огромной скоростью, ломая на своем пути стволы деревьев и постройки. Суша была затоплена водой до уровня 15–20 м. Высота отдельных заплесков (при набегании волны на крутой склон или преграду), по данным последующих измерений, превысила 30 м. Максимальная высота заплеска, замеренная в 15 км к югу от Банда-Ачеха, составила 34.6 м. Высота морской террасы, на которой стоит город, 3–5 м. Цунами по-

дошло 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 2–3 км от берега практически все постройки были разрушены и перенесены вглубь, обломаны или вырваны из грунта громадные деревья. Бетонные и каменные блоки превратились в крошку. В рельефе промыты борозды и каналы шириной до 5–10 м и глубиной в несколько метров. Склоны гор оголились до высоты 15–20 м. На расстоянии 3–5 км от берега поток воды становился настолько нагруженным несомым материалом, что был подобен лахару.

Побережье на севере и северо-западе Суматры испытало

Вести из экспедиции

косейсмическое опускание. 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.

Сигли расположен в 70 км к юго-востоку от Банда-Ачеха, в дельте реки на высоте 1.5 м над ур. м. Высота цунами здесь не превышала 4–5 м, однако город пострадал очень сильно. Многие дома разрушены полностью, в остальных выбиты стены, двери, окна. Принесенный мусор и ил откладывались на удалении 1–1.5 км от берега, заполняя улицы и дома. Возле Сигли раньше существовало множество рыбобороздных ферм, все они так-

же разрушены, искусственные водоемы занесены толстым слоем ила и песка.

* * *

Цунами 26 декабря 2004 г. унесшее жизни почти 300 тыс. человек, было не только одним из самых крупных в истории человечества, но и первым историческим трансокеаническим событием в Индийском океане. Помимо о.Суматры, от него пострадали Таиланд, Шри-Ланка, Индия, Мальдивы, Африка (даже там высота цунами достигала 3–4 м). В геологическом прошлом такие события в Индийском океане уже случались, но данных о них очень мало. И этот пробел необходимо восполнить с помощью бу-

дущих палеосейсмологических исследований. 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 результаты после детальной обработки заносятся в научные базы данных и будут использованы не только при решении фундаментальных научных проблем, связанных с цунами, но в первую очередь — при проведении цунамирайонирования и выработке рекомендаций, которые должны уменьшить риск и последствия таких природных катастроф в будущем. ■

Обработка полевого материала проводилась при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 03-05-64584.

Литература

1. http://neic.usgs.gov/neis/cq_depot/2004/cq_041223/
2. Цунами глазами специалистов // Природа. 2005. №5. С.23–43.
3. <http://www.seismology.harvard.edu/CMTsearch.html>
4. Никонов А.А. Курильская катастрофа полвека назад // Природа. 2003. №1. С.48–54.
5. http://neic.usgs.gov/neis/cq_depot/2004/cq_041226/
6. <http://earthquake.usgs.gov/eqinthenews/2005/uswcax/>
7. <http://www.ingv.it/%7eroma/reti/rms/terremoti/estero/indonesia/indonesia.htm>

Рекорд продолжительности подводных плаваний в акватории Тихого океана поставили в марте–апреле 2005 г. четыре необитаемых морских планера. Два автономных подводных аппарата двухметровой длины, имеющих торпедообразную форму, прошли расстояние в 1860 миль за 191 сут. Они собирали информацию по акустике океана параллельно с регистрацией температуры и других параметров океанской среды. *Geotimes*. 2005. V.50. №6. P.13 (США).

Сейсмический толчок, который стал причиной цунами,

обрушившегося на берега Южной Азии 26 декабря 2004 г., по мощности был в три раза сильнее по сравнению с первоначальной оценкой: его магнитуда составляла 9.3 по шкале Рихтера, а не 9. Такой вывод следует из анализа сейсмографической информации со всего мира, что позволяет переклассифицировать это землетрясение как второе по мощности после чилийского землетрясения 22 мая 1960 г., магнитуда которого составила 9.5 балла.

Sciences et Avenir. 2005. №697. P.23 (Франция).

9 февраля 2005 г. в парке Версальского дворца было срублено самое старое дерево, ставшее жертвой сильнейшей летней жары 2003 г. и зимней бури 1999 г. Этот дуб был посажен в 1681 г. и вырос до 35-метровой высоты. Он носил имя королевы Марии-Антуанетты, любившей отдыхать в тени его ветвей. Вскоре на его месте будет высажен дуб вида *Quercus robur* — черешчатый, или обыкновенный, имеющий репутацию весьма устойчивого к неблагоприятным воздействиям.

Sciences et Avenir. 2005. №697. P.27 (Франция).