

УДК 550.34.094

## Сейсмогравитационные процессы, зафиксированные на этапе развития Великого восточного японского землетрясения 2011 г. (Тохоку)

© 2020 г. Л.Е. Собисевич, А.Л. Собисевич, К.Х. Канониди

ИФЗ РАН, г. Москва, Россия

**Аннотация.** Выполнен краткий анализ сейсмогравитационных процессов, которые сопровождали развитие Великого восточного японского цунамигенного землетрясения 2011 г. (Тохоку). Основные научные материалы, приведённые в статье, были получены информационно-измерительными системами Северокавказской геофизической обсерватории ИФЗ РАН и приборными комплексами лабораторий ФИЦ ЕГС РАН. Достаточно внимания отведено анализу структуры зафиксированных сейсмических процессов и сопутствующих гравитомагнитных возмущений, предваряющих крупные землетрясения.

**Ключевые слова:** гравитационные волны, цунамигенное землетрясение 2011 г. (Тохоку), зоны дилатансии и компакции, наклономер, Северокавказская геофизическая обсерватория.

**Для цитирования:** Собисевич Л.Е., Собисевич А.Л., Канониди К.Х. Сейсмогравитационные процессы, зафиксированные на этапе развития Великого восточного японского землетрясения 2011 г. (Тохоку) // Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2, № 2. – С. 39–47. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.2.03>

### Введение

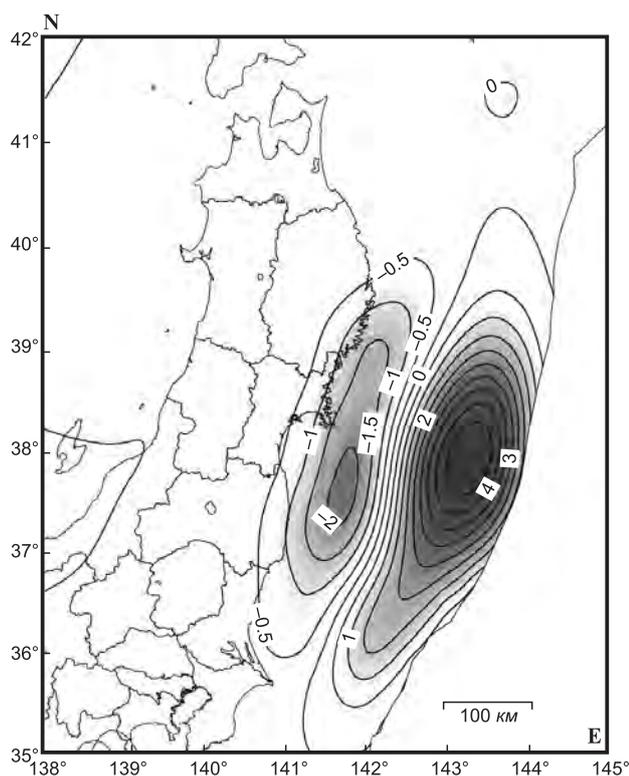
Великое восточное японское цунамигенное землетрясение 2011 г. (Тохоку) произошло 11 марта 2011 г. в 05<sup>h</sup>46<sup>m</sup> восточнее о. Хонсю. Его магнитуда  $M_w$  составила 9.1 [[https://www.globalcmt.org/...](https://www.globalcmt.org/)]. Эпицентр землетрясения располагался на материковом склоне в донных структурах Тихого океана примерно в 120 км восточнее побережья Японии. Оно породило разрушительные волны цунами высотой до 20 м.

Приступая к анализу этого уникального сейсмического события, которое привлекло внимание ведущих сейсмологов и геофизиков, отметим, что тектоническое строение тихоокеанской окраины дуги Хонсю и Японского жёлоба протяжённостью 900 км и шириной 100 км изучается геофизиками уже более 100 лет [Уэда, 1978]. Современные взгляды на строение и сейсмо-тектонику региона, основанные на результатах геологической интерпретации данных МОВ и бурения в этом регионе, широко представлены и в работах российских учёных [Ломтев, 2010; Ломтев и др., 2007]. Ценный научный материал о главном ударе и афтершоках собран региональной сетью сейсмических станций Японии. Он опубликован в специализированных выпусках [<http://www.jma.go.jp> ...].

Характеризуя главный толчок землетрясения Тохоку, следует указать, что он связан сейсмогравитационным процессом с подводным землетрясением 9 марта 2011 г. с  $M=7.6$  [Сейсмологический каталог ..., 2011]. Эпицентр этого предварительного удара был пространственно близок по положению к эпицентру главного удара землетрясения Тохоку, а зафиксированные афтершоки в ретроспективе можно рассматривать как форшоки землетрясения Тохоку.

Согласно картине распространения эпицентров афтершоков, очаговое образование имело впечатляющие размеры: длину около 560–600 км и ширину порядка 200 км. При этом анализ имеющейся геофизической информации позволяет сделать вывод о бифокальном строении очаговой области (рис. 1) [Рогожин, 2011; Kikuchi, Kanamori, 1995; Николаевский, Собисевич, 2015].

Действительно, анализируя динамику зон дилатансии и компакции в процессе развития очага сейсмического события, мы приходим к бифокальной схеме очага, которая структурно асимметрична и может быть представлена двойной парой сил, что свидетельствует о наличии в очаге излучателей квадрупольного типа, ответственных за развитие гравитационных процессов, проявляющихся перед сейсмическим событием.



**Рис. 1.** Бифокальная модель деформирования поверхности Земли в очаговой зоне землетрясения Тохоку.

Показаны районы относительного деформирования поверхности в очаговой области [Рогожин, 2011]

### Метод исследования и фактический материал

Регистрируемые сейсмогравитационные процессы и гравитоманнитные возмущения в вариациях магнитного поля Земли, полученные на базе Северокавказской геофизической обсерватории Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН (ИФЗ РАН), перед цунамигенными и другими масштабными сейсмическими событиями весьма показательны. Они подтверждают, например, что наблюдаемые волновые формы возмущений в вариациях гравитоманнитного поля Земли имеют характерные отличия, которые отражают условия трансформации сформировавшихся геологических отдельностей дилатансного типа в очаговых зонах.

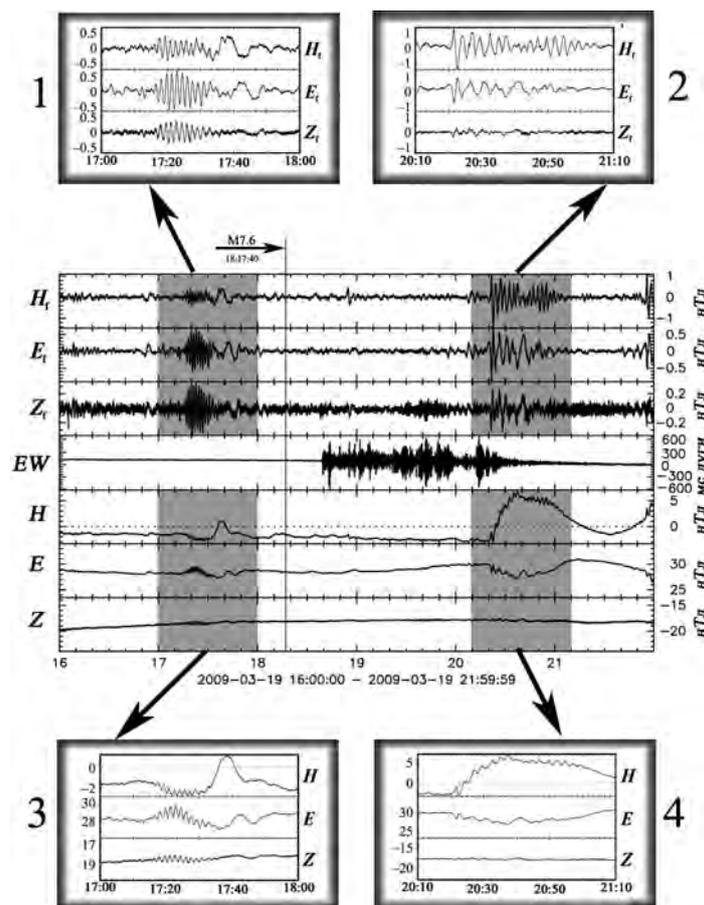
Чтобы убедиться в этом, рассмотрим структуру гравитоманнитного возмущения, зафиксированного приборами Северокавказской геофизической обсерватории 19 марта 2009 г. в районе о. Тонга (рис. 2) [Сейсмологический каталог ..., 2009], когда удалось выделить квазигармонический гравитоманнитный сигнал, косвенно свидетельствующий о наличии в развивающейся очаговой зоне флюидонасыщенных дилатансных образований с выраженными резонансными свойствами.

Анализируя запись наклономера ( $EW_{\text{BAK}}$ ), приведённую на рис. 2, отметим, что разрушение очаговых структур в районе о. Тонга продолжалось более полутора часов. Сопоставляя полученные экспериментальные результаты с данными о геологическом строении дна в районе землетрясения, можно отметить, что здесь имеют место деформационные процессы, активизация которых неразрывно связана с флюидодинамическими особенностями и дегазацией земных недр [Собисевич, 2013].

Изучение большого числа полученных нами данных обсерваторских наблюдений позволяет утверждать, что тонкая структура наблюдаемых гравитоманнитных возмущений определяется в первую очередь геологическими особенностями среды в очаговой зоне [Собисевич, 2013], а имеющиеся данные косейсмических наблюдений (рис. 1) свидетельствуют в пользу бифокальной природы очагов сильнейших сейсмических событий. Зафиксированные аномалии силы тяжести связаны здесь, скорее всего, с дилатансионным разуплотнением отдельностей горной породы в области, которая была охвачена очаговыми образованиями катастрофического цунамигенного землетрясения Тохоку.

Анализируя результаты обсерваторских наблюдений, в полной мере отражающих подготовку и развитие крупных землетрясений, очаговые структуры которых формировались преимущественно в зонах субдукции, мы обратили внимание на появление в ряде случаев достаточно хорошо выраженного сейсмогравитационного процесса. Он отражал масштабные перестройки в крупных отдельностях горной породы, составляющих основу формирующихся очаговых структур задолго до главного удара. Во всех случаях приборы фиксировали характерные сигналы, которые оказывались длиннопериодными с убывающей во времени амплитудой.

Анализ обсерваторских наблюдений позволил установить, что сейсмогравитационный процесс прекращается за несколько часов перед главным ударом. При этом структура тектонических движений, проведённая с выходом на оценки объёмов горной породы, вовлечённой в подготовку очага такого крупного сейсмического события, как Тохоку, позволила сделать обоснованное заключение о формировании источников слабых гравитационных волн [Собисевич и др., 2020]. Именно об этом геофизическом явлении сообщили учёные из Франции и США в 2017 г., анализируя главный толчок землетрясения Тохоку [Vallée et al., 2017].



**Рис. 2.** Район о. Тонга, землетрясение 19 марта 2009 г. Структура квазипериодических возмущений в вариациях гравитомангнитного поля по данным Северокавказской геофизической обсерватории. Горизонтальной стрелкой и вертикальной линией отмечено время в очаге. 1, 2 – окна выделения вариаций магнитного поля после фильтрации в диапазоне периодов 20–300 с; 3, 4 – окна выделения вариации магнитного поля до фильтрации

Характеризуя инструментально наблюдаемые сейсмогравитационные процессы, отметим, что не каждое землетрясение может выступать в роли источника гравитационных волн. Дело в том, что массивы горной породы, вовлечённые в колебательный процесс, трансформируются по-разному. Здесь встречаются случаи, когда в колебательном процессе, в который вовлечены большие объёмы горной породы, предпочтительнее должно быть отдано локальным структурам, формирующим источники возмущений монополярного или дипольного типа, которые по определению не могут генерировать гравитационные волны. Они являются источниками сейсмических волн в литосфере [Собисевич и др., 2020].

В других геологических условиях развивающиеся одновременно в объёме очаговой области зоны дилатансии и зоны компакци образуют своеобразные распределённые пространственные геологические образования, которые относятся уже к источникам квадрупольного типа. В таком случае может развиваться гравитацион-

ный волновой процесс, зародившийся в отдельно взятом сейсмоопасном районе Земли.

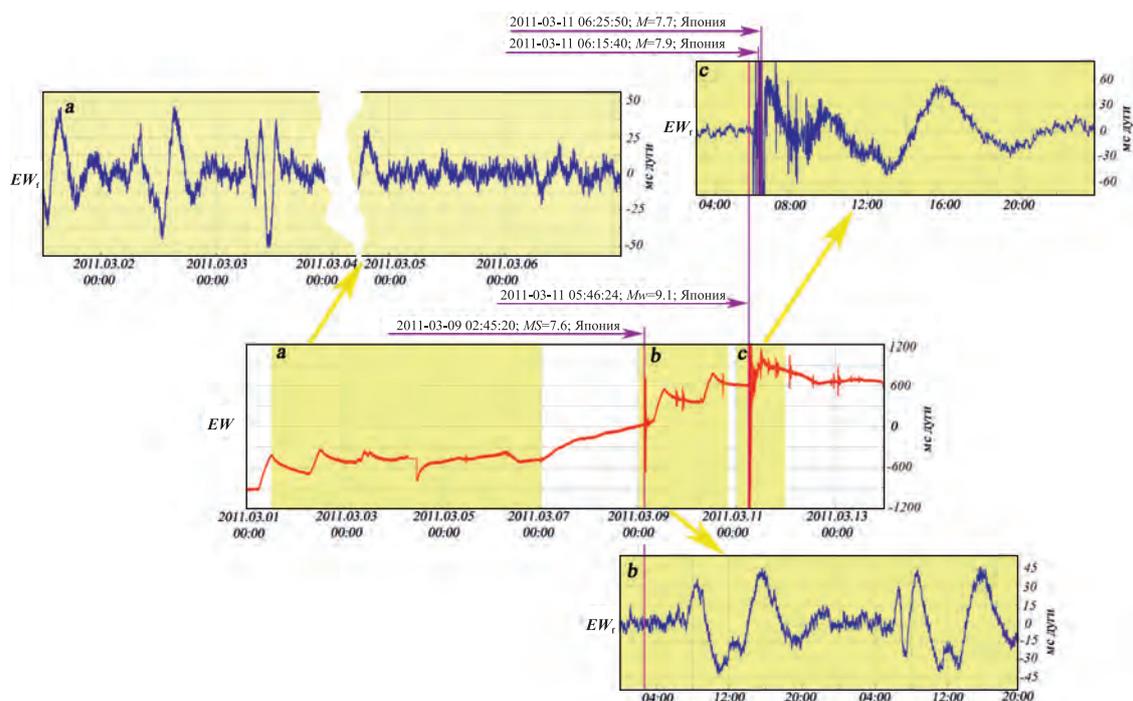
В подтверждение сказанного обратимся к данным наблюдений сейсмических событий, которые позволяют проанализировать структуру реального сейсмогравитационного процесса, проявившегося в период подготовки и на этапе развития очага землетрясения Тохоку, где активизация сформировавшихся масштабных отдельностей горной породы определила структуру неоднородных образований горной породы на различных глубинах. Эти образования способствовали появлению распределённых монополярных, дипольных и квадрупольных излучателей в составе масштабных отдельностей горной породой, вовлечённых в процесс формирования и развития очага землетрясения. А это значит, что здесь ещё до наступления главного толчка сформировались благоприятные условия для зарождения сейсмогравитационного процесса и сопутствующих гравитомангнитных возмущений.

Первые сейсмогравитационные длиннопериодные процессы проявились в этом районе за несколько суток до землетрясения Тохoku. Этот момент отразился в показаниях приборов Северокавказской геофизической лаборатории ИФЗ РАН, которые зафиксировали несколько сейсмогравитационных всплесков, обусловленных подвижками больших массивов горной породы, входящей в состав активизировавшейся области главного разлома. Они и сформировали основные очаговые структуры цунамигенного события Тохoku. Затем более  $3000 \text{ км}^3$  горной породы в составе активного разлома пришли в движение и переместились только по вертикали более чем на  $3.0 \text{ м}$ . Этот сдвиг был подготовлен повышенной флюидной (в первую очередь водородно-гелиевой) активностью со стороны глубинных геосфер. В движение было приведено более  $100 \text{ млрд м}^3$  только водной массы, которая со скоростью  $800 \text{ км/ч}$  двинулась к острову.

На шельфе сформировалась волна цунами, которая ударила по побережью.

Землетрясение Тохoku было успешно зарегистрировано информационно-измерительными системами Северокавказской геофизической обсерватории ИФЗ РАН. На записях удалось выделить развивающийся сейсмогравитационный процесс, включая и момент главного толчка. К сожалению, характерные гравитомангнитные возмущения зарегистрировать в период подготовки и развития цунамигенного землетрясения Тохoku не удалось из-за сильной магнитной бури, которая в этот период сформировалась в ионосфере Земли.

Сложившаяся геофизическая обстановка в период развития землетрясения Тохoku представлена ниже развёрнутым сейсмогравитационным процессом ( $EW_f$ ), где время в очагах форшока и непосредственно землетрясения Тохoku отмечено на графике сиреневыми линиями и стрелками (рис. 3).



**Рис. 3.** Землетрясение Тохoku, Северокавказская геофизическая обсерватория ИФЗ РАН.  
 $EW$  — показания наклономера, установленного в азимуте «восток—запад».

$EW_f$  — структура развивающихся локальных длиннопериодных сейсмогравитационных процессов (a, b, c), отражающих формирование очаговых образований японских землетрясений в период 1–12 марта 2011 г.: форшока с  $MS=7.6$  и Великого японского землетрясения 2011 г. с  $Mw=9.1$ .

Временной интервал «а» (с 00:00 01.03.2011 г. по 00:00 07.03.2011 г.) — сейсмогравитационный процесс, зафиксированный в период формирования очаговых образований форшока с  $MS=7.6$ . Полученные обсерваторские результаты профильтрованы в диапазоне  $0.04\text{--}6.0 \text{ мГц}$  (2 мин 46 с — 7 ч).

Временной интервал «b» (с 22:00 08.03.2011 г. по 20:00 10.03.2011 г.) — сейсмогравитационный процесс, зафиксированный в период формирования очаговых образований Великого восточного японского землетрясения 2011 г. Полученные обсерваторские результаты профильтрованы в диапазоне  $0.04\text{--}6.0 \text{ мГц}$  (2 мин 46 с — 7 ч).

Временной интервал «с» (с 20:00 10.03.2011 г. по 24:00 11.03.2011 г.) — сейсмогравитационный процесс, отражающий главный удар и последующее разрушение очага Великого восточного японского землетрясения 2011 г. Полученные обсерваторские результаты профильтрованы в диапазоне  $0.04\text{--}6.0 \text{ мГц}$  (2 мин 46 с — 7 ч)

## Результаты и обсуждение

Полученные научные результаты позволяют оценить условия развития гравитирующих отдельностей горной породы в разломно-блоковых структурах формирующегося очага [Собисевич и др., 2020].

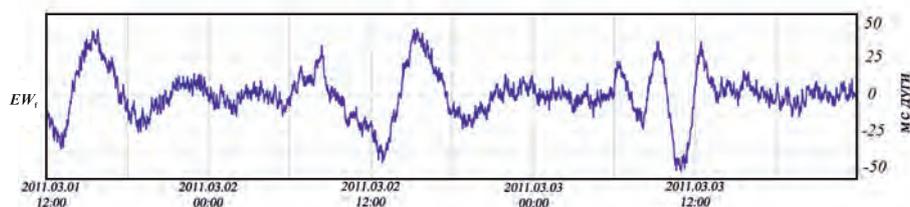
Обратим внимание на экспериментальный результат (рис. 3), который свидетельствует о том, что уже за девять суток до первого форшока с  $MS=7.6$  начали формироваться очаговые структуры, которые затем образовали единый очаг цунамигенного землетрясения Тохоку. Об этом свидетельствуют первый (временной интервал «а») и второй (временной интервал «б») длиннопериодные сейсмогравитационные процессы  $EW_f$  на рис. 3.

Отметим далее, что формирование очаговых структур форшока с  $MS=7.6$  продолжалось около семи суток (рис. 3). Затем наступило «тектоническое затишье». В 9 марта в 02:45 сейсмический удар запустил второй этап в формировании очага землетрясения Тохоку, а сам сейсмогравитационный процесс, просуществовавший двое суток,

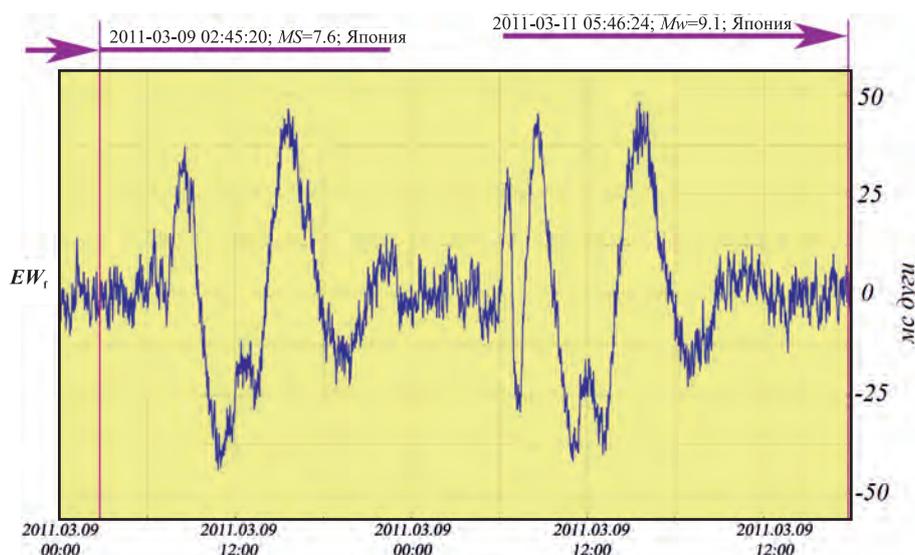
стал определяющим в формировании новой масштабной очаговой структуры катастрофического цунамигенного землетрясения. После «тектонического затишья», которое продолжалось до 11 марта, в 05:46 произошёл главный толчок землетрясения Тохоку.

В момент главного толчка информационно-измерительные комплексы Северокавказской геофизической обсерватории ИФЗ РАН зафиксировали отчётливый сейсмогравитационный процесс (временной интервал 05:46–05:58 11.03.2011 г), который в статье [Vallée et al., 2017] определён как источник упруго-гравитационных или просто гравитационных волн.

Если теперь обратиться к экспериментальным данным, приведённым на рис. 4 и 5, то обнаружим, что после окончания сейсмогравитационного затишья последующий сейсмогравитационный длиннопериодный процесс сформировал главный толчок Тохоку, и только потом, после окончания разрушения очага, он вышел на уровень естественного гравитационного фона (рис. 5).



**Рис. 4.** Структура длиннопериодного сейсмогравитационного процесса (временной интервал «а» на рис. 3), зафиксированного на этапе формирования форшока Великого японского землетрясения 2011 г. в выделенном временном интервале, начиная с 12<sup>h</sup>00<sup>m</sup> 01.03.2011 г.



**Рис. 5.** Структура сейсмогравитационного процесса (временной интервал «б» на рис. 3), зафиксированного на этапе формирования очага Великого японского землетрясения 2011 г. в выделенном временном интервале, начиная с 00<sup>h</sup>00<sup>m</sup> 09.03.2011 г.

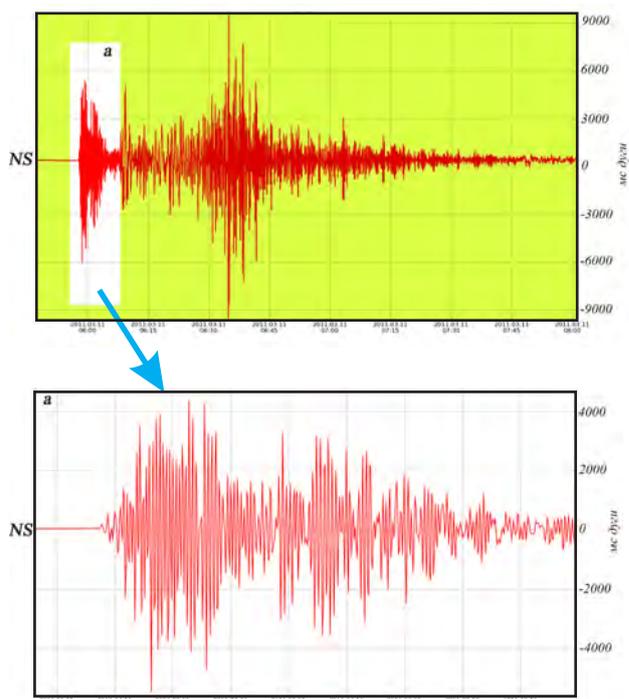
Процесс разрушения очага форшока отразился в сейсмогравитационном поле возмущениями, которые начали формироваться только в 07<sup>h</sup>00<sup>m</sup> 09.03.2011 г. (рис. 5). Здесь сразу обратим внимание читателя на зафиксированный экспериментальный факт. В момент главного удара удаётся выделить только очень слабый гравитационный процесс, который наблюдается на фоне разрушения сформировавшегося очага форшока. Это геофизическое явление пока не имеет строгого научного объяснения. Мы не располагаем данными, почему только спустя четыре часа отчётливый квазигармонический гравитационный процесс начал развиваться.

В сформировавшейся тектонической структуре зафиксировано, по крайней мере, пять квазигармонических возмущений, период которых изменялся в пределах от шести до двух часов. По мере приближения главного удара, связанного уже с разрушением «созревших» очаговых образований Великого японского землетрясения 2011 г., наблюдаемый сеймотектонический процесс выродился до фонового гравитационного процесса. И только в период формирования главного удара (первого толчка) удаётся выделить слабое сейсмогравитационное возмущение, которое и было зафиксировано аппаратными комплексами Северокавказской геофизической обсерватории ИФЗ РАН (рис. 6, 7).

На рис. 6 приведена запись сейсмогравитационного процесса, зафиксированная наклономером, на которой удаётся выделить структуру сигнала непосредственно в момент формирования главного толчка (временной интервал «а»).

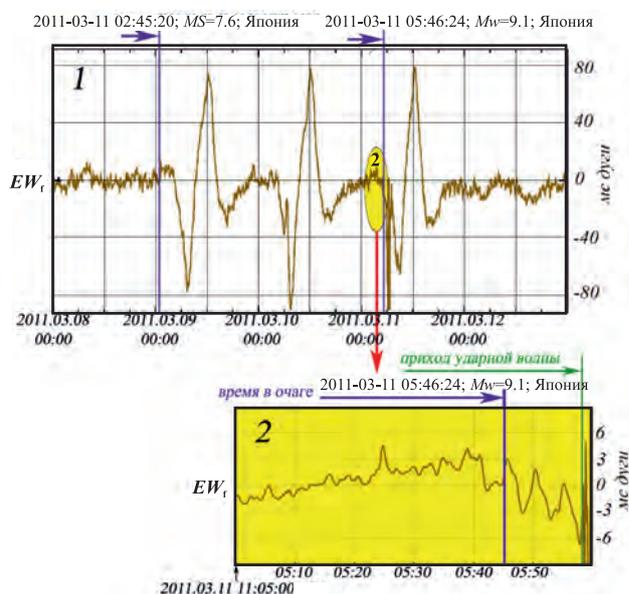
Наклономер зафиксировал отчётливые первые вступления, которые отражают характер подвижки в сформировавшемся очаге в момент разрушения образований горной породы. Здесь можно выделить начало процесса, на котором отразились первые подвижки отдельных горной породы в развивающейся очаговой зоне. Зафиксированный положительный импульс отражает результаты расчёта механизма очага в ФИЦ ЕГС РАН по знакам первых вступлений продольных волн на 97 станциях, из них на 81 станции зарегистрированы волны сжатия (знаки плюс), на 16 станциях — волны разрежения (знаки минус). Станции расположены в интервале эпицентральных расстояний 3–83° при достаточно равномерном распределении по азимутам [Маловичко и др., 2011].

Известно, что причина развития наблюдаемых длиннопериодных подвижек в структуре масш-



**Рис. 6.** Записи сейсмогравитационного процесса землетрясения Тохоку 11 марта 2011 г., зафиксированного наклономером, установленным в Северокавказской геофизической обсерватории ИФЗ РАН.

Временной интервал «а» (05:56:30–06:00:00 01.03.2011 г.) формирования главного толчка. NS — показания накломера, установленного в азимуте «север–юг»



**Рис. 7.** Сейсмогравитационный процесс и гравитационное возмущение, отражающее момент главного толчка.

В интервале времени 05:40–06:00 11.03.2011 г. удаётся отчётливо наблюдать гравитационное излучение, предшествующее *P*-волне, зафиксированной в 06:00 11.03.2011 г. приборными комплексами Северокавказской геофизической обсерваторией ИФЗ РАН

штабных образований горной породы связана, в первую очередь, с активизацией глубинной флюидной активности в разломно-блоковых структурах Японского жёлоба. Физико-химические процессы, ответственные за формирование и трансформацию локальных объёмов горной породы при внедрении потоков восходящих флюидов, и в первую очередь атомарного водорода, в геофизическую среду Японского жёлоба, рассматривались в работе [Собисевич и др., 2020].

Продолжая анализ сложных и пока не познанных до конца сейсмогравитационных процессов, предваряющих крупные сейсмические события, рассмотрим структуру сейсмогравитационного процесса, выделенного в момент главного толчка землетрясения Тохоку. Весьма сложный волновой процесс заставляет задуматься об источниках сейсмогравитационного возмущения, которое неразрывно связано, в том числе, с бифокальной природой сформировавшегося очагового образования [Николаевский, Собисевич, 2015].

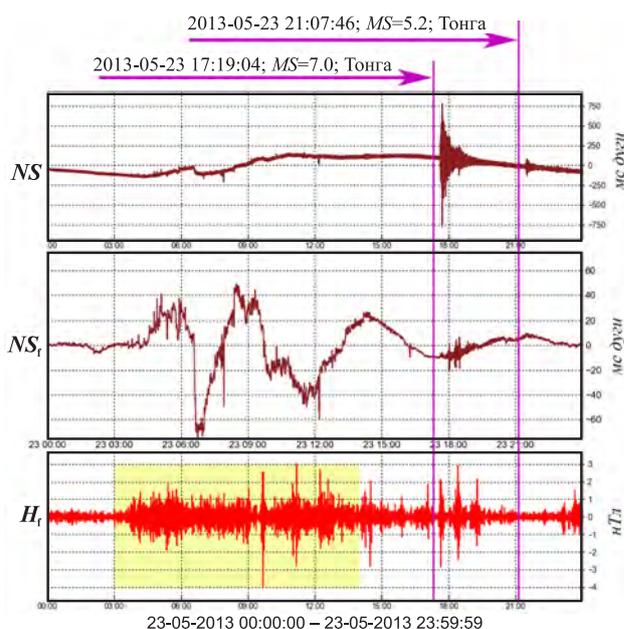
Полученные обсерваторские результаты позволяют с новых позиций анализировать развитие гравитирующих отдельностей горной породы в разломно-блоковых структурах формирующегося очага Великого японского землетрясения 2011 года.

### Заключение

В заключение следует сказать несколько слов и о сопутствующих гравитомагнитных возмущениях, регистрируемых на всех этапах развития крупных сейсмических событий. Они отчётливо проявляются на фоне развивающегося сейсмогравитационного процесса при умеренной магнитной обстановке в геосферах Земли. Примером здесь может служить серия землетрясений, которые произошли в окрестности о. Тонга (рис. 8) [Сейсмологический каталог ..., 2013].

Таким образом, полученные уникальные сейсмологические и геолого-геофизические данные, относящиеся к землетрясению Тохоку и другим сейсмическим событиям, позволяют лучше понять особенности геофизических процессов в очагах на всех этапах формирования геофизических катастроф планетарного масштаба.

**Работа выполнена в рамках государственного задания ИФЗ РАН.**



**Рис. 8.** Северокавказская геофизическая обсерватория ИФЗ РАН. Зафиксированное землетрясение в районе о. Тонга (23.05.2013 г. в 17<sup>h</sup>19<sup>m</sup>), которое предварялось сейсмогравитационным процессом и проявившимися на его фоне гравитомагнитными возмущениями.

$NS$  — показания наклономера, выставленного в азимут «север—юг». Лаборатория № 3 Северокавказской геофизической обсерватории в г. Нальчике.

$NS_r$  — сейсмогравитационный процесс, зафиксированный наклономером, выставленным в азимут «север—юг». Сигналы профильтрованы в полосе 0.04–10 мГц.

$H_r$  — показания северной компоненты напряжённости магнитного поля, профильтрованные в диапазоне 3–100 мГц

### Литература

- Ломтев В.Л. К строению ложа Северо-Западной Пацифики // Уральский геофизический вестник. — 2010. — № 1 (16). — С. 21–32.
- Ломтев В.Л., Никифоров С.П., Ким Ч.У. Тектонические аспекты коровой сейсмичности Сахалина // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. — 2007. — № 4. — С. 64–71.
- Маловичко А.А., Старовойт О.Е., Габсатарова И.П., Коломиец М.В., Чепкунас Л.С. Катастрофическое землетрясение Тохоку 11 марта 2011 г. в Японии // Сейсмические приборы. — 2011. — Т. 47, № 1. — С. 5–16.
- Николаевский В.Н., Собисевич Л.Е. Природа бифокального очага землетрясения и предвестники удара // Геофизический журнал. — 2015. — Т. 37, № 4. — С. 51–74.
- Рогожин Е.А. Землетрясение Тохоку 11.03.2011 ( $M=9.0$ ) в Японии: тектоническая позиция очага,

- макросейсмические, сейсмологические и геодинамические проявления // Геотектоника. — 2011. — № 5. — С. 3–16.
- Сейсмологический каталог (сеть телесейсмических станций)*, 2009 // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. — URL: [ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic\\_Catalog/2009](ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_Catalog/2009)
- Сейсмологический каталог (сеть телесейсмических станций)*, 2011 // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. — URL: [ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic\\_Catalog/2011](ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_Catalog/2011)
- Сейсмологический каталог (сеть телесейсмических станций)*, 2013 // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. — URL: [ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic\\_Catalog/2013](ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_Catalog/2013)
- Собисевич А.Л. Избранные задачи математической геофизики, вулканологии и геоэкологии. Т. 2. Северокавказская геофизическая обсерватория (Создание, анализ результатов наблюдений). — М.: ИФЗ РАН, 2013. — 288 с.
- Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е., Лиходеев Д.В. Сейсмогравитационные процессы, сопровождающие эволюцию сейсмофокальных структур литосферы // Геодинамика и тектонофизика. — 2020. — Т. 11, 1. — С. 53–61. doi: 10.5800/GT-2020-11-1-0462
- Уэда С. Окраины глубоководных желобов северо-западной части Тихого океана // Геология континентальных окраин. — М.: Мир, 1978. — Т. 2. — С. 170–191.
- Earthquake Research Institute, the University of Tokyo* [Site]. — URL: <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/eng/>
- Kikuchi M., Kanamori H. The Shikotan earthquake of October 4, 1994: lithospheric earthquake // *Geophysical Research Letters*. — 1995. — V. 22, N 9. — P. 1025–1028.
- Vallée M., Ampuero J.P., Juhel K., Bernard P., Montagner J.P., Barsuglia M. Observations and modeling of the elastogravity signals preceding direct seismic waves // *Science*. — 2017. — V. 358. — P. 1164–1168. doi: 10.1126/science.aaa0746
- Электронный ресурс: [https://www.researchgate.net/publication/258490206\\_Tsunami\\_source\\_of\\_the\\_2011\\_off\\_the\\_Pacific\\_coast\\_of\\_Tohoku\\_Earthquake](https://www.researchgate.net/publication/258490206_Tsunami_source_of_the_2011_off_the_Pacific_coast_of_Tohoku_Earthquake)

#### Сведения об авторах

**Собисевич Леонид Евгеньевич**, д-р техн. наук, профессор, гл. науч. сотр. Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики Земли им. Шмидта О.Ю. Российской академии наук (ИФЗ РАН), г. Москва, Россия. E-mail: [sobis@ifz.ru](mailto:sobis@ifz.ru)

**Собисевич Алексей Леонидович**, д-р физ.-мат. наук, член-корреспондент РАН, зав. лаб. ИФЗ РАН, г. Москва, Россия. E-mail: [alex@ifz.ru](mailto:alex@ifz.ru)

**Канониди Константин Харлампиевич**, инженер ИФЗ РАН, г. Москва, Россия. E-mail: [kkkh@izmiran.ru](mailto:kkkh@izmiran.ru)

## Seismogravity processes observed in the course of development of the 2011 Tohoku earthquake

© 2020 L.E. Sobisevich, A.L. Sobisevich, K.Kh. Kanonidi

*IPE RAS, Moscow, Russia*

**Abstract** The analysis of the seismogravity processes accompanying the process of development of the tsunamigenic Great East Japan (Tohoku) Earthquake is carried out. Original data and most of the scientific results were obtained at the Geophysical Observatory in Northern Caucasus operated by the Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences in collaboration with the Federal Research for Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences. Specific attention is focused on the analysis of the structure of the registered seismic processes and the accompanying gravitomagnetic disturbances observed immediately prior to the main seismic event.

**Keywords** gravitational waves, tsunamigenic 2011 Tohoku earthquake, dilatation and compaction domains, tiltmeter, Geophysical Observatory in Northern Caucasus.

**For citation** Sobisevich, L.E., Sobisevich, A.L., & Kanonidi, K.Kh. (2020). [Seismogravity processes observed in the course of development of the 2011 Tohoku earthquake], *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 2(2), 39–47. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.2.03>

## References

- Earthquake Research Institute, the University of Tokyo (2020). Retrieved from: <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/eng/>
- GS RAS, Catalogues of Teleseismic Stations (2020). Retrieved from: [ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic\\_Catalog/2009](ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_Catalog/2009)
- GS RAS, Catalogues of Teleseismic Stations (2020). Retrieved from: [ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic\\_Catalog/2011](ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_Catalog/2011)
- GS RAS, Catalogues of Teleseismic Stations (2020). Retrieved from: [ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic\\_Catalog/2013](ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_Catalog/2013)
- Kikuchi, M., & Kanamori, H. (1995). The Shikotan earthquake of October 4, 1994: lithospheric earthquake. *Geophysical Research Letters*, 22(9), 1025-1028.
- Lomtev, V.L. (2010). [To the structure of North-West Pacific Basin]. *Ural'skii geofizicheskij vestnik* [Ural Geophysical Vestnik], 1(16), 21-32. (In Russ.).
- Lomtev, V.L., Nikiforov, S.P., & Kim, C.U. (2007). [Tectonic aspects of the crustal seismicity of Sakhalin]. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk* [Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences], 4, 64-71. (In Russ.).
- Malovichko, A.A., Starovoit, O.E., Gabsatarova, I.P., Kolomiets, M.V., & Chepkunas, L.S. (2011). Catastrophic Tohoku earthquake of 11 March, 2011 in Japan. *Seismic instruments*, 47(1), 5-16.
- Nikolaevsky, V.N., & Sobisevich, L.E. (2015). [The nature of the bifocal source of the earthquake and precursors of the blow]. *Geofizicheskii zhurnal* [Geophysical Journal], 37(4), 51-74. (In Russ.).
- Rogozhin, E.A. (2011). March 11, 2011 M 9.0 Tohoku earthquake in Japan: Tectonic Setting of source, macroseismic, seismological, and geodynamic manifestations. *Geotectonics*, 45(5), 337-348.
- Sobisevich, A.L. (2013). *Izbrannye zadachi matematicheskoi geofiziki, vulkanologii i geoekologii. T. 2. Severokavkazskaya geofizicheskaya observatoriya. Sozdanie, analiz rezul'tatov nabliudeniya* [Selected problems of mathematical geophysics, volcanology and geoecology. T. 2. North Caucasus Geophysical Observatory. Creation, analysis of observation results]. Moscow, Russia: IPE RAS Publ., 288 p. (In Russ.).
- Sobisevich, A.L., Sobisevich, L.E., & Likhodeev, D.V. (2020). [Seismogravitational processes accompanying the evolution of seismic focal structures in the lithosphere]. *Geodynamics & Tectonophysics*, 11(1), 53-61. doi: 10.5800/GT-2020-11-1-0462 (In Russ.).
- Ueda, S. (1978). *Okrainy glubokovodnykh zhelobov severozapadnoi chasti Tikhogo okeana* [Outskirts of deep-sea trenches of the northwestern part of the Pacific Ocean]. In *Geologiya kontinental'nykh okrain* [Geology of continental margins], 2, (pp. 170-191). Moscow, Russia: Mir Publ. (In Russ.).
- Vallée, M., Ampuero, J.P., Juhel, K., Bernard, P., Montagner, J.P., & Barsuglia, M. (2017). Observations and modeling of the elastogravity signals preceding direct seismic waves. *Science*, 358, 1164-1168. doi: 10.1126/science.aao0746
- Electronic resource: [https://www.researchgate.net/publication/258490206\\_Tsunami\\_source\\_of\\_the\\_2011\\_off\\_the\\_Pacific\\_coast\\_of\\_Tohoku\\_Earthquake](https://www.researchgate.net/publication/258490206_Tsunami_source_of_the_2011_off_the_Pacific_coast_of_Tohoku_Earthquake)

## Information about authors

**Sobisevich Leonid Evgenievich**, Dr., Professor, Principal Researcher of the Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences (IPE RAS), Moscow, Russia. E-mail: [sobis@ifz.ru](mailto:sobis@ifz.ru)

**Sobisevich Alexey Leonidovich**, Dr., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the Laboratory of the IPE RAS, Moscow, Russia. E-mail: [alex@ifz.ru](mailto:alex@ifz.ru)

**Kanonidi Konstantin Kharlampievich**, Engineer of the IPE RAS, Moscow, Russia. E-mail: [kkkh@izmiran.ru](mailto:kkkh@izmiran.ru)