

Т. Гусева, Л. Латынина
Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта, РАН

РЕШЕНИЕ НОВЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ПО GPS ДАННЫМ

© Гусева Т., Латынина Л., 2009

Последние достижения в области геодинамики связаны с развитием новых методов изучения длиннопериодических колебаний Земли и с созданием новой инструментальной техники.

Проводится сравнение перспектив использования широкополосных сейсмических и GPS станций для регистрации сейсмических волн. Рассматриваются результаты изучения крупнейшего землетрясения на Суматре на базе новых геодезических и сейсмологических технологий

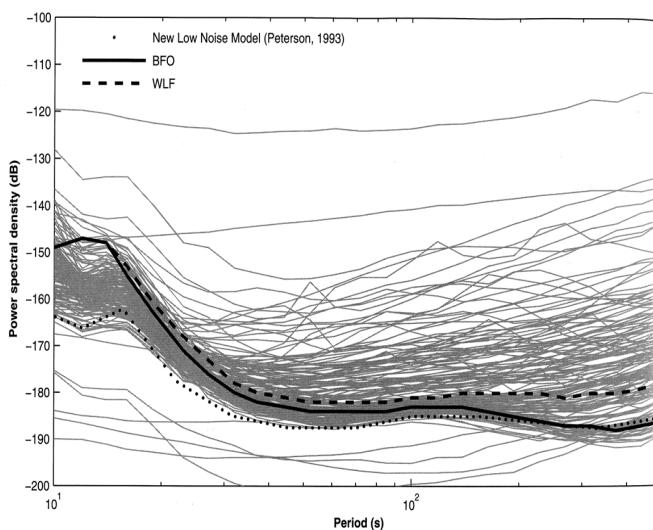
Last achievements in the field of the geodynamics are connected with the new methods and new instrumental techniques. It is possible now to study long period fluctuations of the Earth crust. The comparison of the broadband seismic equipment and GPS stations nets for the seismic works are carried out. The results of study of the largest Sumatra earthquake on the basis of new geodetic and seismological technologies are considered.

Введение. Создание глобальной сети широкополосных сейсмических станций GSN и систем GPS открыло новые перспективы исследования геофизических явлений. Традиционной задачей GPS измерений является изучение медленных вековых процессов в форме современных движений земной коры и других их проявлений. Интенсивное развитие GPS технологий в комплексе с высокоточными измерениями в подземных геофизических обсерваториях обеспечило увеличение точности определения как тектонических, так и экзогенных явлений и характеристик движения на малых интервалах времени. Особую важность приобрели задачи о движениях земной поверхности техногенного происхождения в аспекте сохранения окружающей среды, ландшафтов и экологического мониторинга. Актуальными явились задачи изучения геодинамики сейсмически-активных зон на территории наших стран, исследования процессов деформации на стадии разрушения, механизма разрушения, косеисмических и постсейсмических деформаций.

Регистрация сейсмических волн. До недавнего времени регистрация колебаний с периодами минуты и мониторинг монотонных деформаций земной коры со скоростью, до 10^{-10} в час, не могли быть выполнены ни сейсмическими, ни геодезическими методами. Усовершенствование сейсмической аппаратуры, рост ее разрешения, модернизация в диапазоне длинных волн изменило ситуацию. Система IRIS, используемая в России, позволяет регистрировать сейсмические колебания с периодами до 5 минут. С помощью этой аппаратуры удалось выделить микросейсмические предвестники некоторых сильных землетрясений Тихоокеанской зоны. Эти предвестники имеют вид 5 - 40 минутных периодичностей в интенсивности микросейм и появляются за несколько суток до землетрясений (Г.А.Соболев и др. 2006). Глобальная сейсмическая сеть GSN оборудована сейсмографами с полосой пропускания до 10 минут. Для регистрации собственных колебаний Земли, возбуждаемых сильными землетрясениями, последние десятилетия успешно используются станции GPS, а сетью герцовых GPS станций получены хорошие записи сейсмических волн (Park J et al. 2005). Высококачественная запись землетрясения Denali на Аляске 3.11.2002г с $M=7.9$ получена сетью одногерцовых GPS станций на расстояниях от очага от 180 км до 3800 км. [Larson K.M. et al. 2003]. В работе (Т.В.Гусева и др. 2007) помещены рисунки из указанной работы, где приведены схемы расположения сейсмических и GPS станций. Смещения на расстоянии от очага до 4 тыс. км. достигают 7 см, а на расстоянии 2500 тыс.км. - 15 см. Четко и детально на расстояниях от сотен до 3 тысяч километров от очага записаны поверхность волны. Их аномально большие амплитуды, видимо, связаны и с методом регистрации, и с особенностями очага.

Сравнение сейсмических и GSP записей. В общих чертах GPS и сейсмические записи одного и того же землетрясения совпадают, но первые менее зашумлены. Качество записи длиннопериодических волн деформационными инструментами выше, чем сейсмическими. Нередко амплитуды сейсмических волн по деформационным данным несколько больше, чем по сейсмическим. Все это можно объяснить более высоким уровнем помех при сейсмической записи. Сейсмические станции регистрируют скорости смещений. Смещения получаются интегрированием сигнала, искаженного помехами. Уровень помех отражают соотношения J.Peterson. На рисунке 1 дан сравнительный уровень помех на всех сейсмических станциях глобальной сети относительно уровня шума на самой малошумной станции. Он по существу совпадает с расчетными величинами..

В 10-минутном диапазоне спектральная плотность помех велика. Шум при регистрации 15 – минутной волны порядка сантиметра. Кроме того, имеют место ограничения, связанные с пределами динамического диапазона сейсмографов. В настоящее время отмечается широкое использование деформационных приборов - наклонометров, деформографов для записи длинных сейсмических волн (Л.А.Латынина и др., 2005). На рис. 2 дан пример записи поверхности волн водотрубным наклонометром на станции Люксембург.(Ferreira A.M.G. et al. 2006) Как показывает запись землетрясения на разломе Denali и другие примеры, велики перспективы использования геодезических и деформационных методов при регистрации сильных землетрясений.. Вопрос о совершенствовании методов регистрации длиннопериодических колебаний широко обсуждается в связи с предполагаемой модернизацией глобальной широкополосной сейсмической сети GSN. Она устарела физически, т. к. работает более 20 лет, и морально, т.к. повысились требования к применяемой технике.



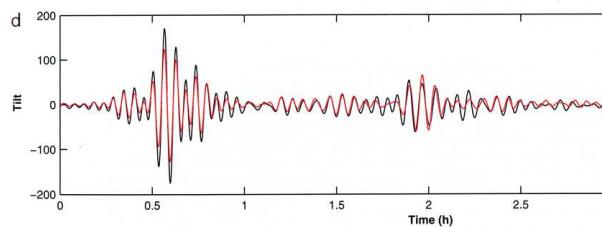
Спектральная мощность шумов для серии сейсмических станций.

Теоретическая кривая шумов J.Peterson, Сейсмические станции сети GSN. Диапазон от 10 до 600 сек

Рис.1

Новые геодинамические задачи. Задачи, решаемые по данным о длиннопериодических колебаниях Земли многообразны. В основном это вопросы о структуре и свойствах крупных литосферных образований. Изучение собственных колебаний Земли дало информацию о ее глобальных характеристиках, которые отражает основная мода колебаний с периодом 53 ми. Более высокие обертоны отражают резонансные свойства оболочек. Широкополосная инструментальная база – сейсмическая и геодезическая, позволила с большой детальностью изучить процесс разрушения в период землетрясения на Суматре, когда за 9 мин была взломана система тектонических разломов длиной 1200 – 1500 км(J.Pietrzak 2007) По данным сети сейсмических станций и данным систем GPS построен ряд моделей развития разрушения в период (9 мин) землетрясения. Совместный анализ всех имеющихся данных позволил выбрать наиболее вероятную модель распространения сдвига по разломам очаговой зоны. Сдвиговая подвижка 20 метровой длины (максимум) возникла на юге разлома, на о-ве Суматра, через 1 мин после этого такая же подвижка возникла на соседних островах в северной части разлома. Эти участки разлома

генерировали волны цунами. При учете GPS данных магнитуда Суматринского землетрясения была увеличена на 0.2, что соответствует увеличению его энергии в 6 раз.

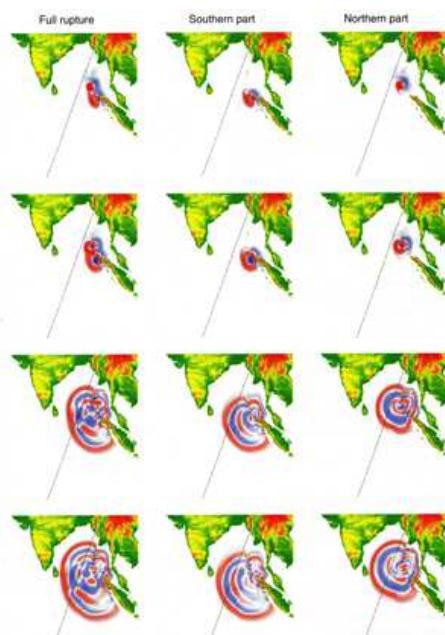


Запись Сум. землетрясения водотрубным наклонометром в обсерватории Люксембурга. Черным наблюдаемый сигнал, красным -сумма теоретического угла наклона и смещения , вызванного горизонтальными инерционными силами.

Рис.2

Сети GPS станций могут играть важную роль в системах предупреждения цунами. Известно, что при сильнейших землетрясениях Тихоокеанского пояса большая доля человеческих потерь вызвана цунами. Такая ситуация имела место при землетрясении на Суматре. Надо вспомнить, что цунами высотой до 30 м, сопровождающее Камчатское землетрясение 4.10.1952 с магнитудой 9.0, уничтожило в одночасье весь Тихоокеанский флот России. Проблема предсказания цунами остается одной из важнейших в современной геодинамике.

Цунамигенные землетрясения называются медленными. Длительность разрыва, в среднем, - 100 сек, большие периоды колебаний, малая скорость сдвига – их отличительные особенности. Одно из наиболее характерных цунамигенных землетрясений, Никарагуанское землетрясение 1992 г с магнитудой 7.6, с первой волной длительностью 500 сек, которую не маскируют короткие волны. Дефицит коротких волн – это тоже признак цунамигенного землетрясения. Детально исследован процесс образования цунами для Суматринского землетрясения. Длительность разрыва около 500 секунд. По данным альтиметра спутника Jason-1, пересекающем в эти минуты Индийский океан, а также по данным приливных береговых станций построены модели развития цунами. Интерференция волн, распространяющихся от южного и северного частей разлома, привела к мощному цунами в Южной Индии и Шри Ланке. На рис.3 показаны стадии развития цунами.



Последовательные стадии образования цунами : от северного, южного и обоих разрывов на острове Суматра и на о-вах Никобар и Андаман

Рис.3

Результаты Смещения в окрестности разлома и на разломе продолжались после землетрясения в течение еще 1.5 – 2 месяцев. Исследованы все последовательные стадии развития разрывов и сдвигов. Важнейшим достижением проведенных исследований механизма землетрясения на Суматре и механизма образования цунами представляется следующий практически важный вывод. Первая стадия развития сейсмических процессов дает всю необходимую информацию для предсказания цунами. При соответствующем уровне автоматизации данных измерений и существования моделей строения и развития региона, цунами можно было предсказать. Оперативно действующая региональная GPS система является обязательным дополнением к традиционной сейсмической службе предсказания цунами. Таково заключение о возможности предсказания цунами и значительного снижения масштаба катастрофы.

1. Гусева Т.В., Латынина Л.А *GPS измерения косейсмических и постсейсмических деформаций сильных землетрясений.*// Геодинамика, Львов, 2007, N 1(6), С.5-10. 2. Латынина Л.А, Милюков В.К, Васильев И.М., Миронов А.П *Максимальные смещения земной поверхности в районе Подмосковья при Суматранском землетрясении 26.12.2004 г.*// В сб. трудов Геофизика XXI столетия, 2007 г. 3. Соболев Г.А., Любушкин А.А. *Микросейсмические импульсы как предвестники землетрясений.*// Физика Земли, 2006, N 9, С. 5- 17. 4. Ferreira A.M.G., d'Oreye N.F., Woodhouse J.H., Zurn W. *Comparison of fluid tiltmeter data with long period seismograms. Surface waves and Earth's free oscillations.*// J. Geophysical research. 2006. v.111, N B11, B 11307, pp. 4-17. 5. Larson K.M., Bodin P., Gomberg J. *Using 1-Hz GPS data to measure Deformations caused by the Denali fault Earthquake.*// Science 300, 30 V, 2003 , pp 1421- 1424. 6. Park J., Song T., Kanamory H., Berger J., Braitenberg C. at all. *Earth's free Oscillations excited by the 26 December 2004 Sumatra-AndamanEarthquake.*// Science, 2005, v. 308, pp. 1139- 1144. 7. Pietrzak J., Socquet A., Ham D., Simons W., Vigny C., Labeur R. J., Schrama E., Stelling G., Vatvani D. *Defining the source region of the Indian Ocean Tsunami from GPS, altimeters, tide gauges, and tsunami models.*// ScienceDirect. 2007, Earth and Planetary Science Letter, 261, pp.49-64.