

РЕГИСТРАЦИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОГО ДЕФОРМОГРАФА (СЕЙСМОСТАНЦИЯ ТАЛАЯ, БАЙКАЛЬСКАЯ РИФТОВАЯ СИСТЕМА)

Владимир Юрьевич Тимофеев

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, доктор физико-математических наук, зав. лабораторией, тел. (383)335-64-42, e-mail: timofeevvy@ipgg.sbras.ru

Екатерина Ивановна Грибанова

Сибирский филиал ФГБУН «Геофизическая служба» СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 13/3, научный сотрудник

Дмитрий Геннадьевич Ардюков

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, e-mail: ardyukovdg@ipgg.sbras.ru

Антон Владимирович Тимофеев

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, младший научный сотрудник, e-mail: timofeevav@ipgg.sbras.ru

Владимир Михайлович Семибаламут

Сибирский филиал ФГБУН «Геофизическая служба» СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 13/3, директор

Сергей Владимирович Панов

Сибирский филиал ФГБУН «Геофизическая служба» СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 13/3, инженер

Михаил Дмитриевич Парушкин

Сибирский филиал ФГБУН «Геофизическая служба» СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 13/3, инженер

Сергей Федорович Панин

Кемеровский филиал Межотраслевого научного центра горной механики и маркшейдерского дела, 650000, Россия, г. Кемерово, пр. Советский, 63а, зав. лабораторией

Изучение периодических деформаций земной коры необходимо для решения различных задач геофизики в широком пространственном и временном спектре. Измерения деформаций проводятся различными методами в штольнях и скважинах. В работе представлены результаты лазерных измерений на комплексной станции Талая (Байкальский регион). Приводятся примеры регистрации собственных колебаний Земли, собственных колебаний – сейш озера Байкал и земно-приливных вариаций.

Ключевые слова: лазерный деформограф, измерения в штольне, собственные колебания Земли, сейши Байкала, приливные деформации.

GEOPHYSICAL PROCESS REGISTERED BY LASER EXTENSOMETER (TALAYA SEISMOLOGY STATION, BAIKAL REGION)

Vladimir Yu. Timofeev

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, Koptyug Prospect 3, Doctor of Science, Head of the Laboratory, tel. (383)335-64-42, e-mail: timofeevvy@ipgg.sbras.ru

Ekaterina I. Gribanova

SB GS SBRAS, 630090, Russia, Novosibirsk, Lavrentieva Prospect 13/3, Reasearcher

Dmitrii G. Ardyukov

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, Koptyug Prospect 3, Ph. D., Senior Researcher, e-mail: ardyukovdg@ipgg.sbras.ru

Anton V. Timofeev

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, Koptyug Prospect 3, Junior Researcher, e-mail: timofeevav@ipgg.sbras.ru

Vladimir M. Semibalamut

SB GS SBRAS, 630090, Russia, Novosibirsk, Lavrentieva Prospect 13/3, Director

Sergei V. Panov

SB GS SBRAS, 630090, Russia, Novosibirsk, Lavrentieva Prospect 13/3, Engineer

Michel D. Parushkin

SB GS SBRAS, 630090, Russia, Novosibirsk, Lavrentieva Prospect 13/3, Engineer

Sergei F. Panin

VNIMI, 650000, Russia, Kemerovo, Sovetskii Prospect 63a, Head of the Laboratory

Current study of crust strain are impotent for geophysics tasks in time and in space. Different methods were used for deformation's measurements into underground gallery and into well. Strain laser measurement results at Talaya station (Baikal region) are present. We show examples of tidal variation.

Key words: laser extensometer in underground gallery; free oscillations, seiches, Earth tides; Baikal Lake.

Лазерный деформограф на станции Талая (юго-западная часть Байкальской рифтовой системы) может быть использован как эффективный инструмент для изучения собственных колебаний Земли, сейшей озера Байкал, приливных деформаций Земли [1]. Рассмотрим примеры использования приборного лазерного комплекса, установленного в 90-метровой штольне сейсмостанции. Собственные колебания Земли – одна из важных областей геофизического поиска [2, 3]. В экспериментальном плане собственные колебания стыкуют сейсмологию и гравиметрию. Из анализа записи деформографа (Моха, Германия) после Суматранского землетрясения (26.12.2004 г., $M = 9$) известны, например, периоды собственных колебаний от 57 мин.; 35,5 мин.; 25,8 мин.;

20 мин.; 13,5 мин.; 11,8 мин.; 8,4 мин. и меньше [4]. Обратимся к записям лазерного деформографа, полученным на станции Талая в период катастрофического землетрясения в Японии (11 марта 2011 года, $M = 9.1$). Измерения выполнялись в ортогональных азимутах ($-24^\circ N$ и $66^\circ N$), проходящих по штрекам штольни. Наиболее чистая запись получена по разностной деформации (базы в двух азимутах одинаковы – 25 м) (рис. 1). Спектры деформации представлены на рис. 2. В спектрах выделяются частоты крутильных и сфероидальных колебаний. Благодаря тому, что земное ядро жидкое, а крутильные колебания являются поперечными колебаниями (аналогично поперечным волнам), они связаны лишь с твердыми областями Земли и определяются распределением плотности и модуля сдвига в оболочке (мантии) и коре. Известно, что благодаря изучению собственных колебаний из двух моделей Земли: а) модели Гутенберга со слоем пониженных скоростей сейсмических волн на глубинах 50 км ÷ 250 км и модели б) Джеффриса, не обладающей таким слоем, – собственные колебания весьма убедительно отдают «предпочтение» модели Гутенберга. Различные частотные интервалы определяются свойствами различных областей земных недр, являются важной частью информации для построения модели строения Земли. Затухание колебаний – источник сведений о вязких свойствах отдельных слоев Земли. Следовательно, собственные колебания позволяют изучать не только интегральные свойства земного шара, подобно приливам в теле Земли, но и дифференциальные, а лазерный деформограф может служить важной частью аппаратного комплекса для их изучения.

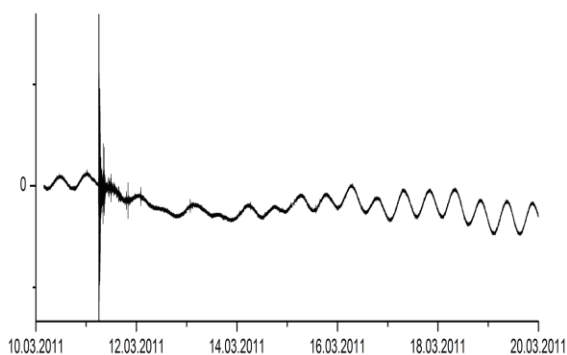


Рис. 1. Нефильтрованный сигнал разности деформографов в двух азимутах: $-24^\circ N$ и $66^\circ N$, эффект землетрясения 11.03.2011: приливные и собственные колебания

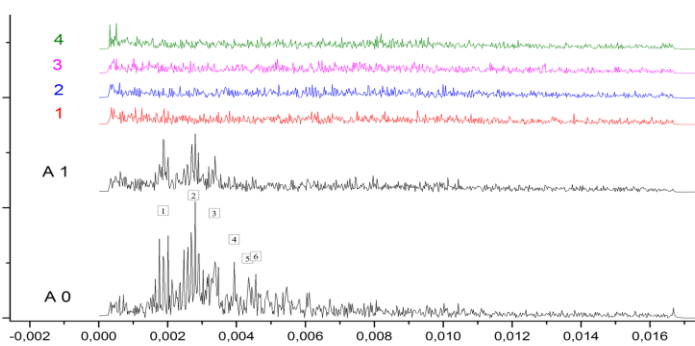


Рис. 2. Спектры для разности, A0 – сразу после землетрясения, A1 – сдвиг на 3 часа, (1) через сутки и т. д. Выделяются отдельные пики в полосе частот от 0,0003 до 0,0060 Гц (в минутах 57; 35,5; 25,8; 20; 13,5; 11,8; 9,0; 6,1; 4,9; 4,2; 3,8 и 3,6)

Рассмотрим собственные колебания озера Байкал – колебания уровня воды – сейши, которые, нагружая земную поверхность (дно озера Байкала), вызывают деформации земной коры. Эти эффекты можно регистрировать лазерным деформографом в штольне сейсмостанции Талая [5-8]. Из причин, вызывающих стоячие волны – сейши на озере Байкал, выделяются двухнедельная модуляция

прилива, сильные землетрясения и резкие изменениями атмосферного давления (рис. 3).

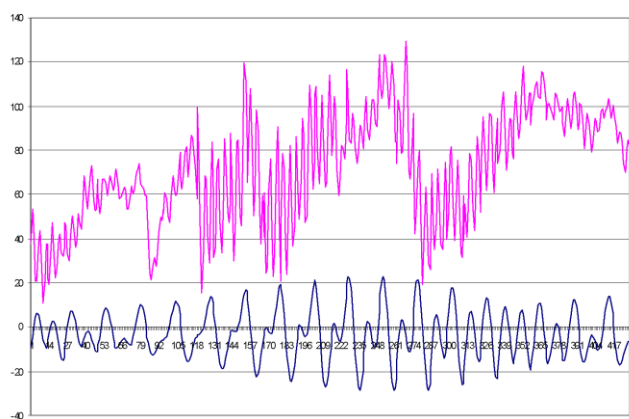


Рис. 3. Вариации уровня озера Байкал (пункт Листвянка, 430 часов записи) с исключением приливного эффекта – сейши (верхний график, в мм) и теоретическая приливная кривая (нижний график). Генерация сейш вызвана максимальными вариациями прилива. Двойная амплитуда первой моды сейш достигает 60 мм в пункте Листвянка

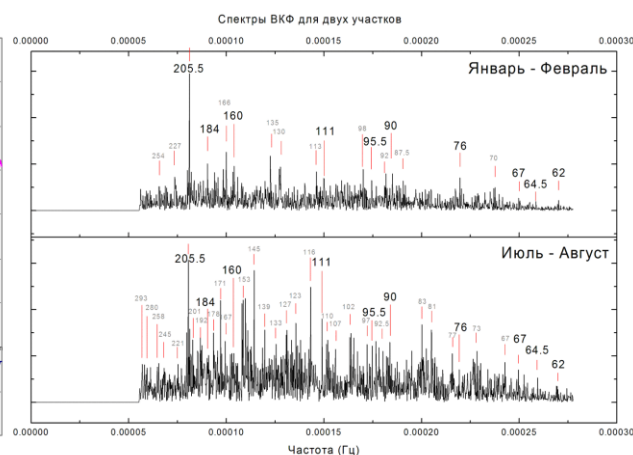


Рис. 4. Спектры для зимнего и летнего периодов наблюдений лазерным деформографом в штольне сейсмостанции Талая

По записям уровня воды озера для пункта Листвянка (рис. 3), исключив приливные вариации из наблюдений уровня, сделан спектральный анализ и получены следующие периоды сейш: 4 ч 33 м, 2 ч 33 м, 1 ч 28 м, 1 ч 06 м. Узловые линии сейш находятся на расстоянии 280 км, 130 км, 360 км, 540 км соответственно от южной части озера (поселка Култук). Амплитуды сейш у пункта Култук достигают 14 см.

Теоретически периоды сейш связаны соотношением: $T_n = 2l / (n\sqrt{gH})$, где l – длина озера, H – его средняя глубина, $g = 9.8 \text{ м/с}^2$ и n – мода. Амплитуда сейш имеет сезонные вариации. Первая мода сейш хорошо проявляется в записях уровня озера в пункте Листвянка и в данных ледовых измерений смещений. Периодическая нагрузка на дно озера на уровне 1 КПа проявляется в различных видах высокоточных геофизических измерений. Так, спектральный анализ результатов наблюдений лазерным деформографом на станции Талая показал наличия линий сейш в результатах (рис. 4). Были проанализированы спектры для зимнего и летнего периодов наблюдений (рис. 4). Среди полученных частот, помимо отмеченных в Листвянке (периоды 4,55 часа; 2,55 часа; 1,47 часа и 1,1 часа), выделяются колебания с периодом 3,4 часа (205,5 минут). Летний спектр частот богаче, что, возможно, связано с фильтрационными свойствами слоя льда на озере Байкал в зимний период. В дальнейшем эти экспериментальные результаты можно использовать для построения динамической модели озе-

ра Байкал. Периоды, связанные с явлением сейш, следует учитывать при анализе и интерпретации деформограмм. Из значимых эффектов озера Байкал можно упомянуть также нагонные волны, вызванные сильными ветрами, – «Култук», «Баргузин» и т. д., но эти явления нами в данной работе не анализируются.

Приливные деформации Земли охватывают всю планету от ее центра до поверхности, имеют амплитуду единиц 10^{-8} , а приливная сила точно рассчитывается [9]. Отражение эффектов полости, локальных особенностей земной коры и в приливных деформациях для станции Талая достигают 10 % в амплитуде и 9° в фазовом сдвиге [10].

Рассмотрим вариации приливных параметров во времени. Наибольший интерес при анализе приливных колебаний представляет 12-часовая гармоника (волна M2), так как информация, содержащаяся в этом сигнале, менее зашумлена, в то время как 24-часовая приливная гармоника, как правило, искажается суточными вариациями метеорологических параметров. Результаты приливного анализа проведены с помощью программы ETERNA.3.0. по ежегодным данным разностной деформаций. На рис. 5 приведены вариации фазового сдвига (отличие от нормального состояния $+65,4^\circ$) за период с 1990 по 2015 г. Как можно отметить по результатам анализа, многолетние вариации параметров лежат в пределах нескольких градусов. Вариации фазового сдвига после Култукского землетрясения (27.08.2008, M = 6.5, в 25 км от станции Талая) сгладились (рис. 5), что, видимо, отражает состояние геологической среды района. В эпохи сильных землетрясений вариации приливных параметров достигают $3\div 4\%$ в амплитуде и $1\div 3^\circ$ в сдвиге фаз. Аномалии могут быть вызваны изменением гидродинамических условий в зоне глубинного разлома (в $1\div 3$ км от пункта наблюдений) и деформированием земной коры в эпоху сильного землетрясения.

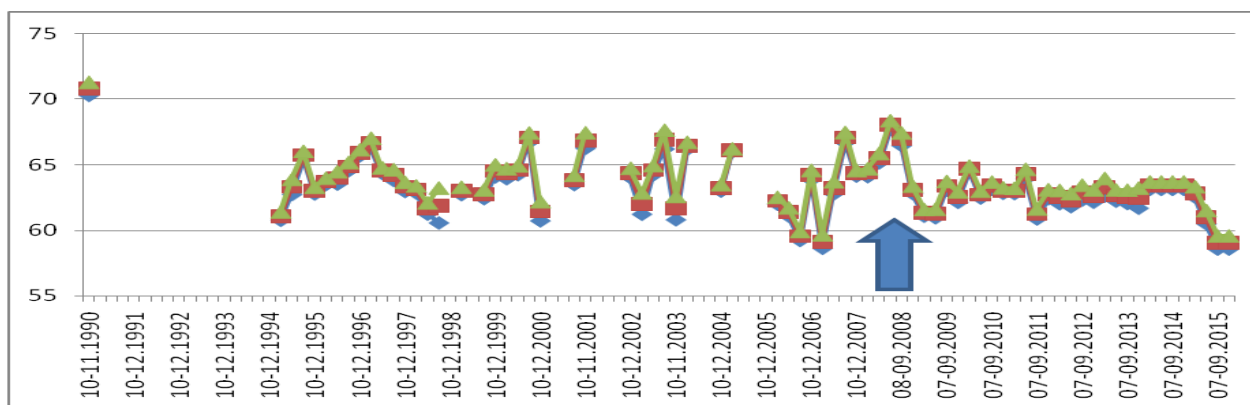


Рис. 5. Фазовый сдвиг (1990-2015 гг.), нормальное значение $65,4^\circ$

В результате следует отметить, что многолетние наблюдения с аппаратурным комплексом – лазерный деформограф – в штольне с-ст Талая показали высокую эффективность при регистрации различных периодических явлений. Определение параметров собственных колебаний Земли, сейш озера Байкал и зем-

ных приливов проведено на высоком метрологическом уровне и соответствует международному уровню геофизических исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Багаев С.Н., Орлов В.А., Фомин Ю.Н., Чеботаев В.П. Гетеродинные лазерные деформографы для прецизионных геофизических измерений // Физика Земли. - 1992. - № 1. - С. 85-91.
2. Стейси Ф. Физика Земли. - М.: Мир, 1972. - 342 с.
3. Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. М.: Наука. - 191 с.
4. Thomas Jahr, Corinna Kroner, Andrea Lippmann. Strainmeters at Moxa observatory, Germany. // Journal of Geodynamics. - 2006. - Vol. 41. - P. 205-212.
5. Атлас Байкала. М.: РАН, 1993. - 160 с.
6. Галазий Г.И. Байкал в вопросах и ответах. - Иркутск: Восточно-Сибирское книжное издательство, 1987. - 167 с.
7. Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Гранин Н.Г., Жданов А.А., Кучер К.М., Бойко Е.В., Тимофеев А.В. Деформация ледового покрова, приливные и собственные колебания уровня озера Байкал // Физическая мезомеханика. Спец. выпуск. - 2010. - Т. 13. - С. 58-71.
8. Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Тимофеев А.В., Бойко Е.В. Деформация ледового покрова озера Байкал при климатических и приливных воздействиях // Вестник НГУ. Серия: Математика, механика, информатика. - 2012. - Т. 12. - Вып. 4. - С.127-137.
9. Melchior P. The tides of the planet Earth. - 2nd ed. Pergamon Press, Oxford, 1983. - 641 p.
10. Timofeev V.Y., Ardyukov D.G., Gribanova E.I., van Ruymbeke M., Ducarme B. Tidal and long-period variations observed with tiltmeters, extensometers and well-sensor (Baikal rift, Talaya station) // Marees Terrestres; Bulletin d'informations, Observatoire Royal de Belgique, Bruxelles, BIM 144, 15 Decembre. - 2008 - P. 11615-11634.

© В. Ю. Тимофеев, Е. И. Грибанова, Д. Г. Ардюков, А. В. Тимофеев, В. М. Семибаламут, С. В. Панов, М. Д. Парушкин, С. Ф. Панин, 2016