

УДК 551.24.02:550.8.014

ИЗУЧЕНИЕ ПРИЛИВНЫХ ВАРИАЦИЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ В ЗОНЕ ПЕРЕХОДА ОТ КОНТИНЕНТА К ЯПОНСКОМУ МОРЮ

Валитов М.Г., Прошкина З.Н., Колпащикова Т.Н., Кулинич Р.Г.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток,
valitov@poi.dvo.ru*

Введение

Изучение лунно-солнечных приливных вариаций гравитационного поля – достаточно развитое направление исследований в мировой геофизической науке [1]. В России подобные исследования в основном сосредоточены в европейской части, на Кавказе и в Сибири. На Дальнем Востоке эти исследования проводятся относительно недавно и включают несколько пунктов наблюдения приливных вариаций в Хабаровском крае, на Камчатке, Сахалине, а с 2010 г. подобный мониторинг организован лабораторией гравиметрии Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева ДВО РАН (ТОИ ДВО РАН) [2] на морской экспериментальной станции (МЭС) «м. Шульца» (рис.1), расположенной на одноименном мысе полуострова Гамова, на юго-западном побережье залива Петра Великого (Японское море), бухта Витязь. Целью этого мониторинга является изучение возможной корреляции приливных и нерегулярных изменений силы тяжести с геодинамикой, гидродинамикой и сейсмогенными процессами в япономорском регионе.



Рис. 1. Обзорная схема расположения стационарного гравиметрического пункта (СГП), СГП отмечен звездой.

Методика наблюдения и подготовка данных

Гравиметр установлен в специально оборудованном подвальном помещении с пассивной термостабилизацией. Прибор непосредственно установлен на бетонном постаменте, который, в свою очередь, находится в неглубоком шурфе, заложенном непосредственно на скальном основании. В целях обеспечения пассивной самозащиты гравиметра, между дном шурфа и низом постамента была сделана песчаная прослойка толщиной 50 см.

В первые два года исследования проходили в летние месяцы и носили опытно-методический характер. В 2010 году измерения выполнялись 52 суток, в 2011 – 107 суток. Начиная с июня 2012 года, и по настоящее время ведется непрерывная регистрация вариаций гравитационного поля

Земли. Регистрация вариаций гравитационного поля выполняется высокоточным приливным гравиметром gPhone № 111 (Micro-g LaCoste Inc., USA). Точность измерений не хуже ± 0.005 мГал. Из-за того, что в гравиметре чувствительный элемент подвешен не на кварцевой, как это часто бывает с подобными приборами, а на металлической пружине, смещение нуля-пункта прибора близко к линейному, не более 1.5 мГал/месяц, чаще всего не превышает 500 мкГал/месяц. В настоящее время длина временного ряда наблюдений с частотой 1 Гц составляет более 2633 суток (рис. 2). Это позволило уточнить амплитуду и фазу основных суточных и полусуточных приливных волн (O_1 , M_1 , P_1S_1 , K_1 , M_2 , S_2 , K_2, M_3) и оценить эти характеристики для длиннопериодных волн (Ssa , Mm , Mf , Mtm).

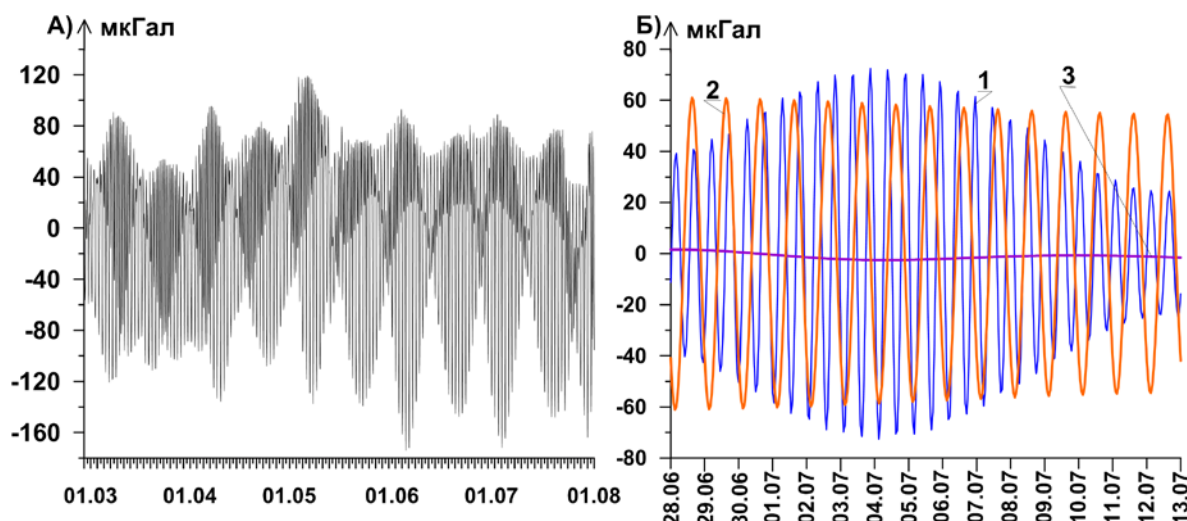


Рис. 2. Пример записи вариаций гравитационного поля Земли: А – поле вариации силы тяжести, зарегистрированные гравиметром с марта по август 2018 года; Б – волновые группы приливных волн (по модели DDW [7]): 1 – полусуточные, 2 – суточные, 3 – длиннопериодные.

Подготовка данных для последующей обработки наблюдений выполнялась по стандартной методике в программе Tsoft [5]. На первом этапе исходные наблюдения очищались от помех, вызванных, в основном, землетрясениями, затем сглаживались методом наименьших квадратов и интерполировались с интервалом 1 час.

Анализ наблюдений

На первом этапе исследования по сглаженным значениям рассчитывался спектр (рис. 3), где, благодаря достаточной длине записи, нам удалось выделить, в том числе, длиннопериодные волны. На представленном спектре уверенно выделяются главные суточные и полусуточные волны (O_1 , P_1 , K_1 , S_1 , M_2 , K_2 , S_2). Наибольшую амплитуду имеет полусуточная волна M_2 . Суточные волны P_1 , S_1 , K_1 и полусуточные S_2 , K_2 имеют, соответственно, очень близкие частоты, поэтому в спектре они практически неразличимы. Второстепенные волны ($2Q_1$, Q_1 , M_1 , J_1 , $2N_2$, N_2 , L_2) также выделены в спектре, но имеют гораздо меньшие амплитуды. Из группы третьесуточных волн нам удалось идентифицировать только волну M_3 . В длиннопериодной части спектра нам удалось выделить волны Mm , Mf . В спектральной записи более низкочастотной области, выделяются трудно идентифицируемые пики, среди которых, возможно, солнечная деклинационная волна (Ssa) с периодом половины тропического года (182.621095 суток или 0.0054758 цикл/сутки), остальные пики в низкочастотной области нам идентифицировать пока не удалось.

Для оценки количественных показателей амплитудных и фазовых характеристик были рассчитаны приливные параметры (δ -фактор – отношение амплитуд наблюдаемой волны к её теоретическому (модельному) значению и фазовый сдвиг α – разность фаз прихода наблюдаемой и теоретической волн) [1, 3, 6] (Таблица 1). Расчеты показывают, что основные параметры главных волн суточного и полусуточного цикла (K_1 , O_1 , P_1 , M_2 , S_2 – показаны в таблице полужирным шрифтом) определены, учитывая отношение сигнал/шум, достаточно надежно. Среднеквадратическая ошибка (СКО) δ -фактора всех волн суточного и полусуточного цикла не превышает тысячных долей, СКО задержки фаз α не более 0.2° , что говорит об уверенном их выделении. Второстепенные приливные волны (Q_1 , M_1 , J_1 , $2N_2$, N_2 , L_2 , M_3) более зашумлены. Зашумленность второстепенных волн суточного и полусуточного цикла, скорее всего, связана с

внешними факторами, влияющими на показания гравиметра (сейсмический шум, морской накат, атмосферные явления и др.).

В низкочастотном диапазоне отношение сигнал/шум не превышает 6.5, СКО δ -фактора изменяется от 0.14 до 0.74. Наиболее стабильной длиннопериодной волной оказалась недельная волна Mf.

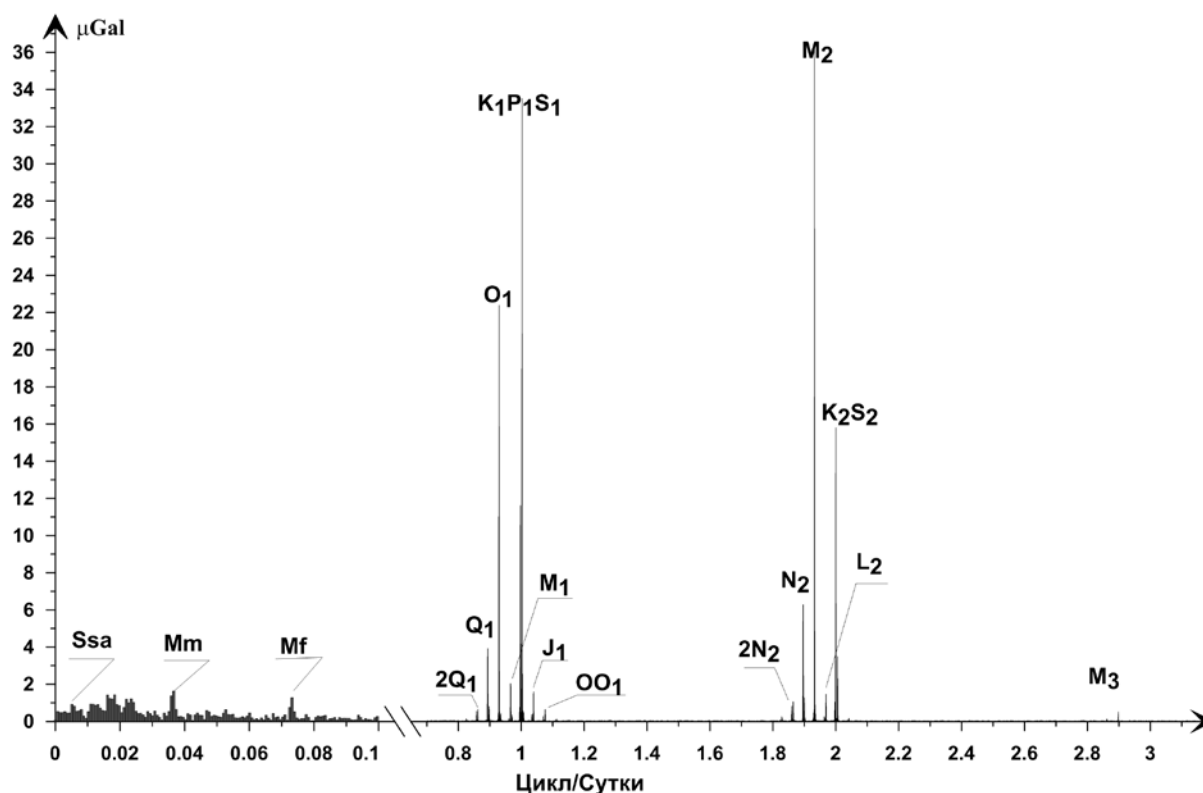


Рис. 3. Спектр вариаций гравитационного поля Земли. Период наблюдений 2306 суток

Таблица 1. Основные параметры приливных волн.

Волны	Амплитуда, мкГал	Сигнал/шум	δ-фактор		задержка фаз	
			δ	СКО	α, °	СКО
Суточные и полусуточные волны (длина записи 2306 дней)						
Q ₁	68.442	178.9	1.15517	0.00646	-0.0636	0.3202
O₁	359.616	940.1	1.1621	0.00124	0.1405	0.0609
M ₁	28.418	74.3	1.16769	0.01572	0.9047	0.7712
P₁	166.681	435.7	1.15761	0.00266	-0.0251	0.1315
S ₁	4.674	12.2	1.37332	0.11239	-33.2389	4.6892
K₁	497.263	1300	1.14257	0.00088	-0.0141	0.0441
J ₁	28.549	74.6	1.17308	0.01572	0.8057	0.7677
OO ₁	15.342	40.1	1.15227	0.02873	-0.3228	1.4286
2N ₂	14.266	56.6	1.14578	0.02026	-0.0743	1.013
N ₂	90.567	359.1	1.16159	0.00324	0.72	0.1596
M₂	475.748	1886.1	1.16826	0.00062	0.9836	0.0304
L ₂	13.499	53.5	1.17274	0.02191	0.4618	1.0706
S₂	224.078	888.4	1.1827	0.00133	0.9756	0.0645
K₂	61.069	242.1	1.18587	0.0049	0.5997	0.2366
Третьсуточная волна (длина записи 2036 дней)						
M ₃	6.325	24.7	1.07207	0.04345	0.6116	2.322
Длиннопериодные волны (длина записи 2036 дней)						
Ssa	6.494	1.9	0.58766	0.30482	6.481	29.7188
MM	4.568	1.4	0.36409	0.26846	-6.5405	42.2475
MF	22.007	6.5	0.92664	0.14184	4.6739	8.7701
MTM	7.153	2.1	1.57302	0.74082	-13.657	26.9837

Помимо вариаций гравитационного поля нами зафиксированы многочисленные ренакции прибора, вызванные землетрясениями. За период зафиксировано множество эффектов от крупных землетрясений, с магнитудой от 4.4 до 8.2 (рис.4), подавляющая часть землетрясений сосредоточена в Тихоокеанском регионе. Эпицентры землетрясений, как правило, приурочены к глубоководным желобам и их ближайшим окрестностям. Отдельные землетрясения зафиксированы в зоне сочленения горных систем Тянь-Шаня и Тибета, а, также в южном Приэльбрусье и на восточной побережье Персидского залива.

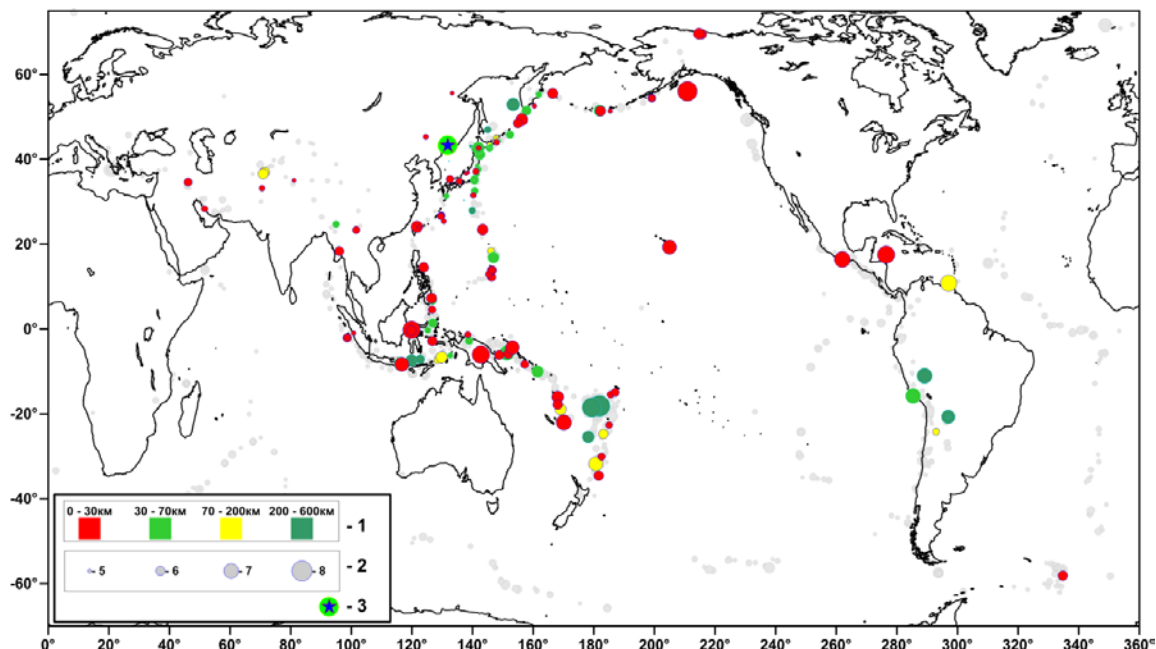


Рис. 4. Карта-схема эпицентров землетрясений, зарегистрированных гравиметром в 2018 году. 1 – ранжирование цветом землетрясений по глубине гипоцентра, 2 – пропорциональное отражение магнитуды землетрясений, 3 – обозначений места наблюдений. Серым цветом показаны землетрясения [4] которые не удалось идентифицировать в записи гравиметра.

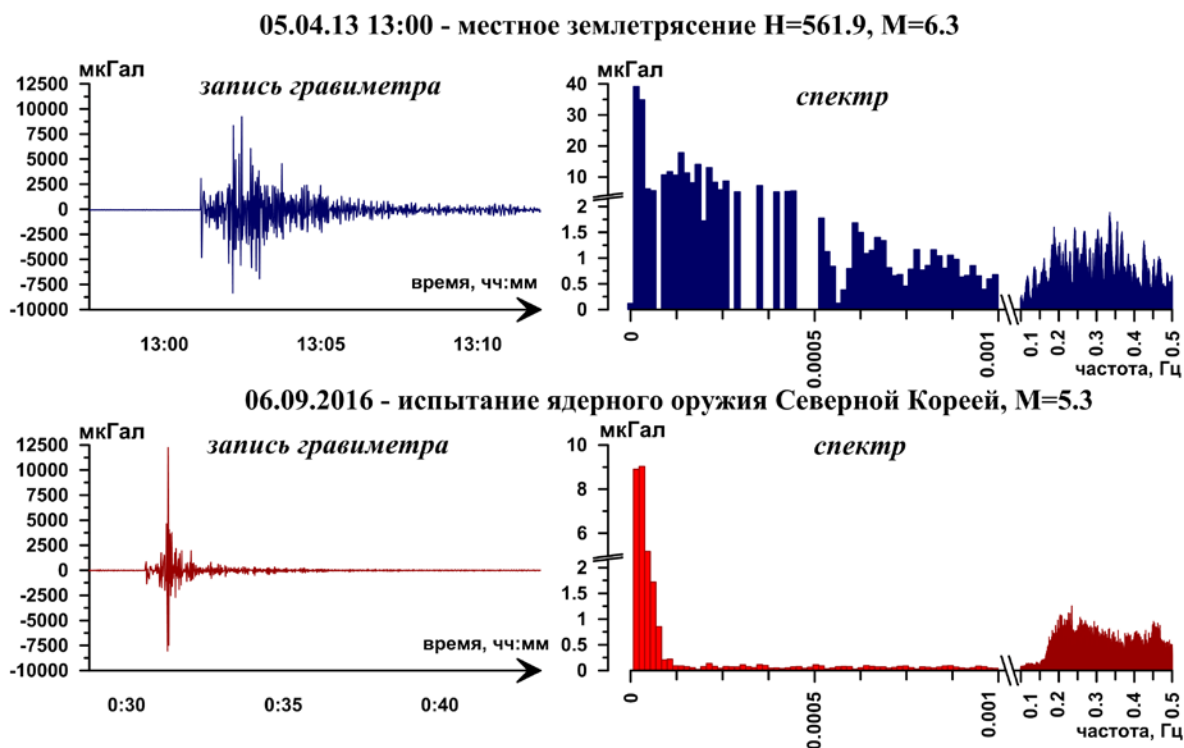


Рис. 5. Эффект в записи гравиметра от землетрясения и техногенного источника. Н – глубина гипоцентра, М – магнитуда

Самое удаленное землетрясение было зафиксировано в Атлантическом океане, произошедшее в районе Сандвечевых островов. В Японском море было зафиксировано три из четырех глубоководных землетрясения, еще два землетрясения было зафиксировано в относительной близости от гравиметрического пункта на континенте. Хотя зарегистрированные эффекты нельзя рассматривать как аномальные вариации гравитационного поля (перемещение маятника прибора вызвано не изменением силы тяжести, а ускорениями, связанными с перемещением постаментов), гравиметр, в данном случае, работает как сейсмограф с большим динамическим диапазоном, дополняя тем самым записи сейсмостанции расположенной на МЭС «м.Шульца».

Еще одним из факторов, отраженных в записи гравиметра, являются воздействия техногенного характера, в частности – подземные ядерные взрывы, производимые в военных целях Северной Кореей. Учитывая относительно небольшую удаленность пункта наблюдения от северокорейского полигона (не более 230 км), все проводимые там испытания фиксировались в записи прибора. В международных сейсмологических каталогах [4] эти ядерные взрывы отмечаются сейсмическим событием антропогенного происхождения с магнитудой 4.5 – 5.5 и нулевой глубиной гипоцентра. Действительно, в отличие от землетрясений, ядерные взрывы имеют более высокочастотные колебания, что обусловлено локальностью его источника и малые, быстрозатухающие амплитуды колебаний. Для примера мы проанализировали эффект от взрыва и ближайшего землетрясения, произошедшего в непосредственной близости от гравиметрического пункта (рис. 5), но на достаточно большой глубине. Из рисунка следует, что хотя в записи гравиметра амплитуды от этих двух событий сопоставимы, в частотной области наблюдаются разные эффекты. Так энергия землетрясения плавно затухает до частоты 0.001, в то время как энергия взрыва затухает в 10 раз быстрее, а его амплитуда меньше амплитуды землетрясения в 4 раза.

Заключение

Гравитационное поле Земли несет в себе огромное количество информации о внутреннем строении планеты. К сожалению, извлечь и интерпретировать (как качественно, так и количественно) эту информацию, в силу ее интегрального эффекта, представляется весьма трудоемкой задачей с часто неоднозначным результатом. Основной проблемой при изучении корреляции приливных и нерегулярных изменений силы тяжести с геодинamikой, гидродинамикой и сейсмогенными процессами в япономорском регионе является сейсмический шум, порождаемый как непосредственно приливными деформациями земной коры, так и воздействием гидросферы и атмосферы, особенно во время прохождения циклонов и тайфунов. В этом шуме «тонет» слабый полезный сигнал, вызванный подготовкой геодинамических событий. Учитывая, что более «тихие» места наблюдений, расположены вдали от областей с активной геодинamikой, остается идти по пути защиты прибора от вибраций. Выходом может стать создание асейсмичных постаментов, способных минимизировать воздействие микросейсм на прибор. В этом случае появится возможность независимо анализировать сейсмометрические и гравиметрические данные, выделять слабые сигналы в поле вариаций силы тяжести.

Исследования проводятся в рамках Госзадания ТОИ ДВО РАН, Тема 0271-2019-0002 «Пространственно-временные изменения геофизических полей, их связь со структурой, геодинamikой и сеймотектоническими процессами в литосфере дальневосточных морей России и их обрамлении» (Гос. Рег. № АААА-А17-117030110032-3).

Список литературы

1. Мельхиор П. Земные приливы. М.: Мир, 1968. 483 с.
2. Прошкина З.Н., Валитов М.Г., Кулинич Р.Г., Колпащикова Т.Н. Изучение приливных вариаций силы тяжести в зоне перехода от континента к Японскому морю // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. 2015. № 3. Вып. 27. С. 71–79.
3. Dehant, V. Tidal parameters for an inelastic Earth // Phys. Earth Planet. Inter. 1987. V. 49. No. 1-2. P. 97–116.
4. U.S. Geological Survey (USGS). Search Earthquake Catalog. URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>.
5. Van Camp, M., Vauterin, P. TSoft: graphical and interactive software for the analysis of time series and Earth tides // Computers & Geosciences. 2005. V. 31. No.5. P. 631–640.
6. Wenzel H.G. The nanogal software: Earth tide data processing package ETERNA 3.30 // Bull. Inf. Marées Terrestres. 1996. V. 124. P. 9425–9439.
7. Wenzel V., Defraigne P., Wahr J. Tides for a convective Earth // J. Geoph. Res. 1999. V.104. No. B1. P.1035–1058.