

УДК 551.24.02:550.8.014

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

© 2015 З.Н. Прошкина, М.Г. Валитов, Р.Г. Кулинич, Т.Н. Колпащикова

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,  
г. Владивосток, 690041; e-mail: pro-zo@yandex.ru*

В работе представлены результаты мониторинга приливных вариаций силы тяжести в зоне сочленения котловины Японского моря с Азиатским континентом в пределах Южного Приморья. Целью мониторинга является изучение возможной корреляции приливных и нерегулярных изменений силы тяжести с геодинamikой, гидродинамикой и сейсмогенными процессами в япономорском регионе. Приведен спектр выделенных приливных волн, рассчитаны численные значения главных приливных параметров: амплитудного фактора –  $\delta$  и фазовой задержки приливной волны –  $\alpha$ , обусловленные упруго-вязкими свойствами региональных геосфер. Из имеющихся глобальных моделей океанической нагрузки определены наиболее подходящие для оценки нагрузочного эффекта в указанном выше районе.

*Ключевые слова: вариации силы тяжести, приливная океаническая модель, модель приливной деформации твердой Земли.*

### ВВЕДЕНИЕ

Изучение лунно-солнечных приливных вариаций гравитационного поля – достаточно развитое направление исследований в мировой геофизической науке (Мельхиор, 1968). 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) на морской экспериментальной станции (МЭС) «м. Шульца», расположенной на юго-западном побережье залива Петра Великого (Японское море). Целью этого мониторинга является изучение возможной корреляции приливных и нерегулярных изменений силы тяжести с геодинamikой, гидродинамикой и сейсмогенными процессами в япономорском регионе.

Известно, что лунно-солнечное влияние на Землю достаточно точно можно рассчитать по астрономическим данным (Мельхиор, 1968).

На этой основе можно построить приливную модель для любой точки на поверхности Земли. Однако рассчитанный гравитационный эффект будет отличен от наблюдаемого в силу многих факторов, таких как мощность, тип и строение земной коры, вязкость мантии, близость к океану и многим другим. Расхождения между наблюдаемым полем и теоретической моделью можно компенсировать, используя локальные модели (Марчук, Каган, 1977; Мельхиор, 1968), в исходные параметры которых заложены конкретные физические параметры геосфер изучаемого региона. Это дает возможность моделировать и изучать влияние гидродинамики на жесткий каркас земной коры, глубинные процессы и геодинamику в недрах Земли, исследовать свойства мантии, а также жидкого и твердого ядра.

Выполняемый мониторинг может стать еще одним источником информации о современных геодинамических процессах в регионе Японского моря. Значимость таких наблюдений существенно усиливается в совокупности с данными GNSS-наблюдений, выполняемых в районе гравиметрического пункта. Первые результаты успешного комплексирования указанных методов опубликованы нами в работе (Тимофеев и др., 2013).

Для успешного решения задач, связанных с состоянием физических характеристик и геодинамических процессов в глубинных геосферах Земли, необходимо, прежде всего, разделение приливной реакции твердых геосфер и океанической гидросферы в регионе исследований. В отличие от выполняемых в России исследований (Антонов и др., 2010; Милуков В.К. и др., 2007; Тимофеев и др., 2008), которые проводятся в основном в континентальной части страны, либо на значительном удалении от морского побережья, гравиметрический пункт «м. Шульца» (рис. 1) находится в береговой зоне Японского моря (200 м от береговой черты). Близость моря и его гидродинамика во многом усложняют задачу наблюдения земных приливов. Это ставит выделение морской составляющей (океанической нагрузки) из суммарного приливного эффекта первостепенной задачей. Для решения этой задачи выполнен соответствующий анализ с использованием имеющихся мировых разработок этого направления.

В настоящее время разработано множество как локальных, так и глобальных моделей расчета эффекта океанической нагрузки (океанических моделей) позволяющих учитывать этот эффект с различной степенью детальности: GOT00.2, TPX06.2, SCHW, TPX0.7.2, NAO.99b, CSR4.0, HAMTIDE, FES2004, EOT11a, DTU10, GOT4.8 и другие (<http://holt.oso.chalmers.se/>

[http://www.upf.pf/ICET/reg/tsoft\\_mean9.htm#reg35](http://www.upf.pf/ICET/reg/tsoft_mean9.htm#reg35)). Понимая, что ни одна из рассматриваемых глобальных моделей не сможет полностью компенсировать эффект океанической нагрузки для конкретной точки наблюдения, нами предпринята попытка проанализировать и оценить расхождения между теоретической приливной моделью Земли и наблюдаемого поля вариаций силы тяжести без этого нагрузочного эффекта, компенсированного приведенными выше океаническими моделями. В задачу указанного анализа вошла коррекция эффекта океанической нагрузки с использованием приведенного выше ряда моделей и выбор той из них, которая наиболее полно учитывает влияние гидросферы на результаты гравиметрического мониторинга на пункте «м. Шульца». Полученные результаты излагаются в настоящей статье.

### МОНИТОРИНГ ВАРИАЦИЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ

Непрерывные наблюдения на гравиметрическом пункте «м. Шульца» начаты в июне 2012 г. и выполняются в настоящее время. Регистрация вариаций гравитационного поля выполняется высокоточным приливным гравиметром gPhone № 111 (Micro-g LaCoste Inc., USA). Точность измерений  $\pm 0.001$  мГал, смещение нуля-пункта



Рис. 1. Обзорная схема пункта наблюдения МЭС м. Шульца.

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 900 суток. Фрагмент записи вариаций гравитационного поля показан на рис. 2.

Обработка наблюдений выполнялась по стандартной методике в программе Tsoft (Van Camp, 2005). На первом этапе исходные наблюдения очищались от помех, вызванных в основном землетрясениями, затем сглаживались фильтром Фурье и интерполировались с интервалом 1 час. По сглаженным значениям рассчитывался спектр приливных волн разного периода – от полусуточных до месячных (рис. 3).

На представленном спектре уверенно выделяются главные суточные ( $O_1, P_1, K_1, S_1$ ) и полусуточные ( $M_2, K_2, S_2$ ) волны, вызванные влиянием Луны, Солнца и суммарным лунно-солнечным воздействием. Наибольшую амплитуду имеет полусуточная лунная волна  $M_2$ . Суточные волны  $P_1, S_1, K_1$  и полусуточные  $S_2, K_2$  имеют очень близкие частоты, поэтому в спектре они практически неразличимы. Второстепенные волны ( $Q_1, M_1, J_1, 2N_2, N_2, L_2, M_3$ ) также выделены в спектре, но имеют гораздо меньшие амплитуды. В длиннопериодной части спектра нам удалось выделить лунные волны месячного (Mm) и полумесячного (Mf) циклов. Спектральные пики в более низкочастотной области идентифицировать не удалось.

По выполненным наблюдениям были рассчитаны количественные характеристики глав-

ных приливных волн: амплитудный  $\delta$ -фактор и задержка фаз приливной волны –  $\alpha$ . Оба параметра показывают отличие физических свойств планеты от ее теоретической модели, являясь, таким образом, источником информации о ее вязко-упругих и других структурно-вещественных свойствах. Амплитудный  $\delta$ -фактор представляет собой отношение амплитуды наблюдаемой приливной волны к теоретической,  $\alpha$ -параметр определяет величину задержки по фазе прихода реальной приливной волны от теоретической. Эти параметры рассчитывались в программе ETERNA (Wenzel, 1996).

Результаты расчетов, представленные в таблице, показывают, что основные параметры главных волн суточного и полусуточного цикла определены с достаточно высокой точностью (средне-квадратичная ошибка  $\delta$ -фактора не превышает тысячных долей, а задержки фаз  $\alpha$  не более  $0.1^\circ$ ), что говорит об уверенном их выделении.

Длиннопериодные волны значительно зашумлены (средне-квадратичная ошибка (СКО)  $\delta$ -фактора достигает 0.6; СКО задержки фаз  $\alpha$   $35.6^\circ$ ). В этом диапазоне лучше всего выделена волна Mf (СКО  $\delta$ -фактора 0.124), однако ее фаза определена с большой погрешностью. На данном этапе наблюдений длина записи не позволяет качественно выделять и использовать основные приливные параметры длиннопериодных волн для дальнейших расчетов.

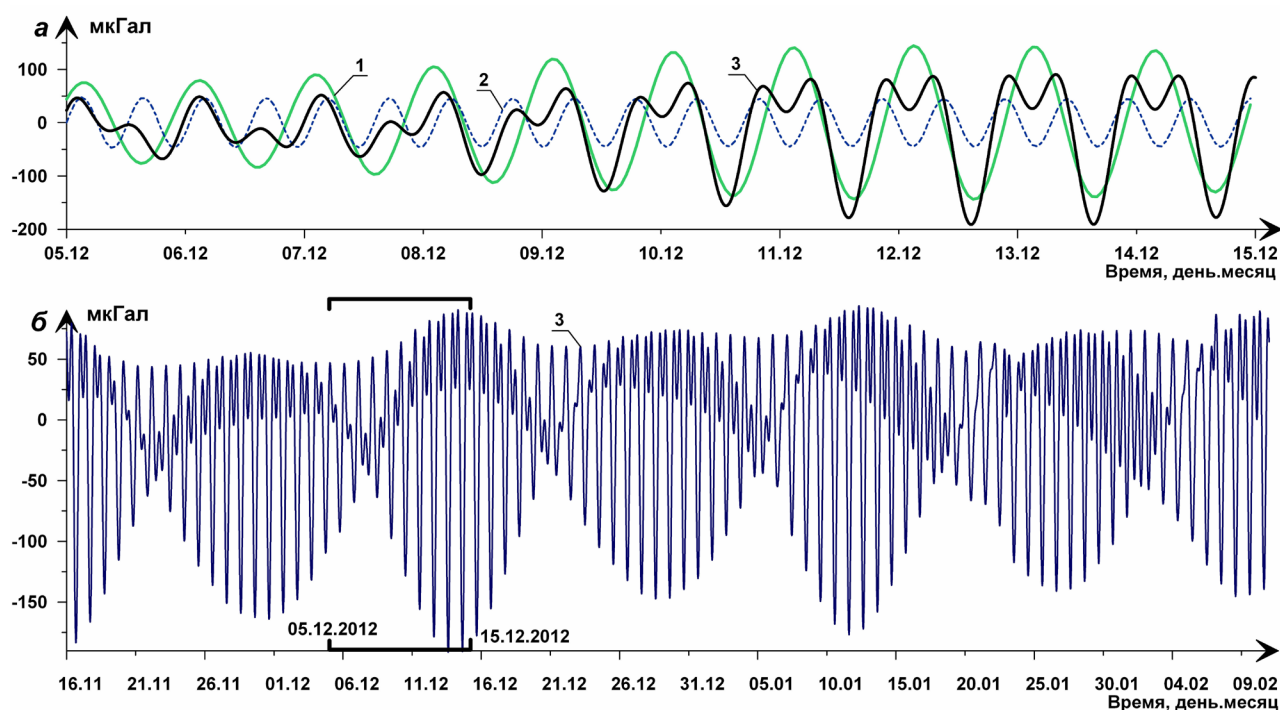


Рис. 2. Приливные вариации силы тяжести: а – с 05 по 15.12.12; б – с 16.11.2012 по 9.02.2013: 1 – суточная волна, 2 – полусуточная волна, 3 – наблюдаемая вариация. Жирной линией показан детальный участок записи.

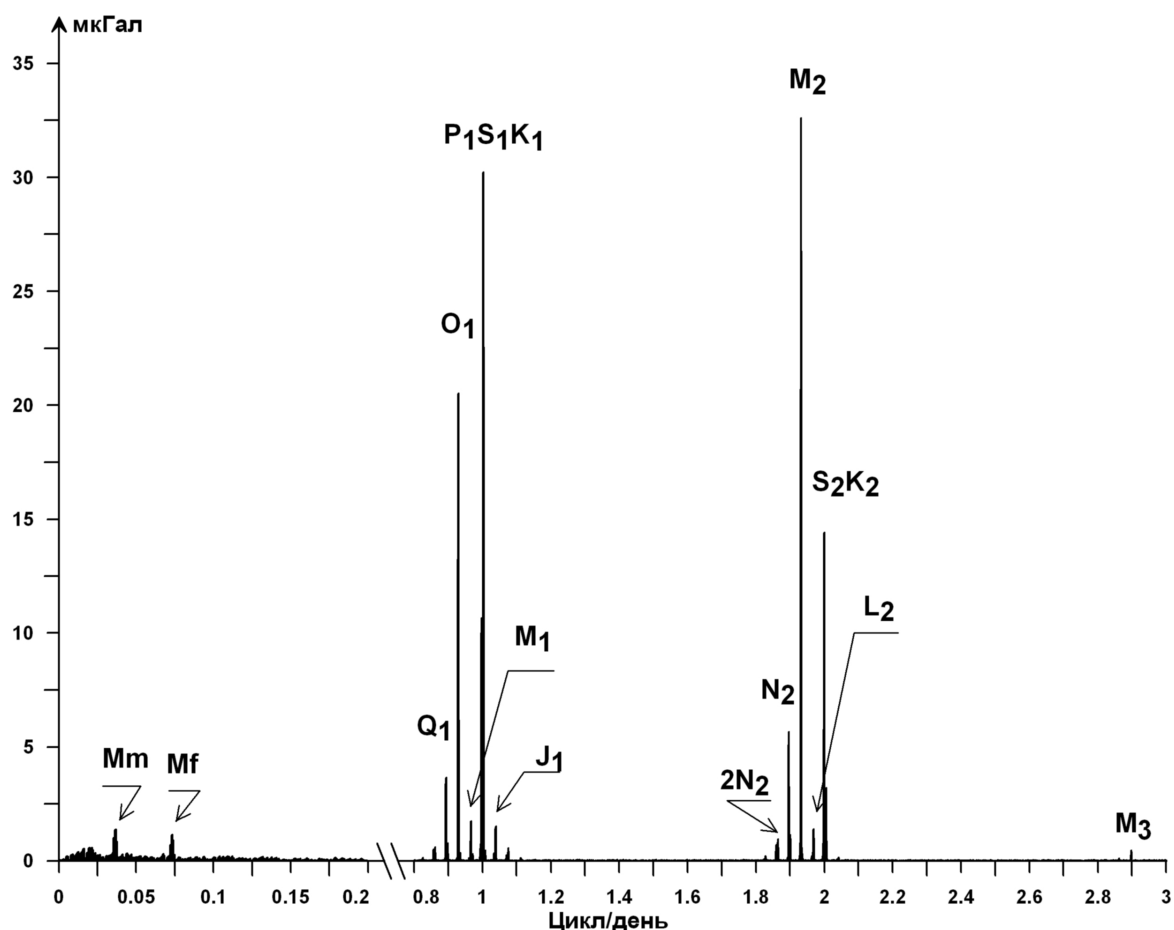


Рис. 3. Спектр вариаций силы тяжести за период наблюдений 2012-2015 гг. Буквами обозначены приливные волны: главные суточные ( $O_1$ ,  $P_1$ ,  $K_1$ ,  $S_1$ ), главные полусуточные ( $M_2$ ,  $K_2$ ,  $S_2$ ), длиннопериодные ( $Mm$ ,  $Mf$ ), второстепенные ( $Q_1$ ,  $M_1$ ,  $J_1$ ,  $2N_2$ ,  $N_2$ ,  $L_2$ ,  $M_3$ ).

Основные параметры главных волн суточного и полусуточного цикла.

Волны	Амплитуда, мкГал	Сигнал/шум	$\delta$ -фактор	СКО	задержка фаз <sup>о</sup> , $\alpha$	СКО
Главные суточные и полусуточные волны (длина записи 789 дней)						
$O_1$	35.122	1195.2	1.135	$\pm 0.00095$	-0.674	$\pm 0.048$
$P_1$	16.304	554.8	1.132	$\pm 0.00204$	-0.088	$\pm 0.107$
$K_1$	48.478	1649.7	1.114	$\pm 0.00068$	-0.029	$\pm 0.035$
$M_2$	47.038	1573.5	1.155	$\pm 0.00073$	0.525	$\pm 0.036$
$S_2$	21.919	733.2	1.157	$\pm 0.00158$	0.350	$\pm 0.078$
$K_2$	5.894	197.2	1.145	$\pm 0.00581$	0.768	$\pm 0.291$
Длиннопериодные волны (длина записи 789 дней )						
$Mm$	1.319	4.5	1.051	$\pm 0.235$	-54.256	$\pm 12.804$
$Mf$	2.351	8.0	0.990	$\pm 0.124$	-13.471	$\pm 7.184$
$Mtm$	0.474	1.6	1.043	$\pm 0.648$	97.707	$\pm 35.608$

Примечание. СКО – среднеквадратичное отклонение.

### ВЫДЕЛЕНИЕ ОКЕАНИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ИЗ НАБЛЮДЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПРИЛИВА

Как известно (Мельхиор, 1968), океанические приливы и приливы твердой Земли вызваны одним и тем же гравитационным воздействием небесных тел, в основном Луны

и Солнца. Вследствие этого регистрируемые приливные вариации силы тяжести включают в себя их суммарный эффект. При исследовании вариаций гравитационного поля Земли, в том числе непериодических, построении его моделей, решении задач связанных с определением фигуры Земли, ее внутреннего строения и вещественного состава необходимо разделить

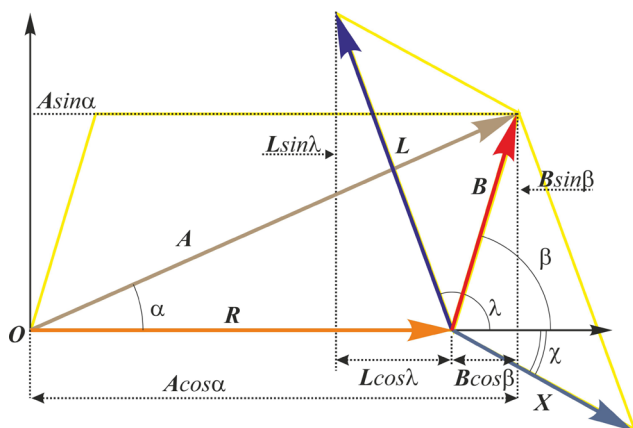


суммарный приливной сигнал, выделить гравитационный эффект от астрономического и океанического прилива (так называемую океаническую нагрузку), а также учесть гравитационный эффект атмосферы (Мельхиор, 1968). Суммарный приливной эффект достаточно сложен, однако существуют способы разделения гравитационных эффектов от приливных возмущений вязкой мантии (Dehant et al, 1999), ядра планеты и океана (Melchior, 1966; Sun et al., 2005, Penna et. al., 2008).

Как уже отмечалось, в нашу задачу входило разделение сигналов океанического прилива и прилива твердой Земли. Для чего был рассчитан и проанализирован эффект от существующих глобальных приливных моделей океанической нагрузки и выбора из них оптимальной для коррекции наблюдаемых данных в наших условиях. В конечном итоге мы должны определить приливные модели, адекватные для наших условий наблюдения.

Взаимоотношение векторов приливных сил показано на рис. 4. Наблюдаемый вектор  $A$  ( $A, \alpha$ ), параметры которого вычисляются (Wenzel, 1996) при обработке записей вариаций гравитационного поля, состоит из суммы двух векторов: вектора  $R$  ( $R, 0$ ), соответствующего гравитационному эффекту от приливного воздействия на стандартную модель Земли, и вектора  $B$  ( $B, \beta$ ), включающего в себя суммарный эффект вектора океанической нагрузки  $L$  ( $L, \lambda$ ) (гравитационный эффект от водных масс, от прогиба земной поверхности, от изменения плотности верхней части земной коры) и вектора неучтенных гравитационных эффектов  $X$  ( $X, \chi$ ).

При моделировании земных приливов принято использовать две модели твердой Земли:



**Рис. 4.** Векторная диаграмма приливных составляющих:  $A$  ( $A, \alpha$ ) – наблюдаемый вектор,  $R$  ( $R, 0$ ) – теоретический вектор для стандартной модели Земли,  $B$  ( $B, \beta$ ) – вектор суммарных приливных эффектов,  $L$  ( $L, \lambda$ ) – вектор океанической нагрузки,  $X$  ( $X, \chi$ ) – вектор неучтенных гравитационных эффектов.

упругой и неупругой (WD93 и DDW99). Под упругой моделью понимается модель, равномерно вращающейся Земли с неэластичной мантией (Dehant, 1987). Неупругая модель – модель эллипсоидальной Земли, в которой учтены упруго-вязкие свойства мантии, свободная нутация ядра планеты, конвенция мантии и связанные с этим краевые эффекты. Расхождения приливных параметров для упругой и неупругой модели составляет 0.15%. В нашем случае, с учетом близости океана, для расчета вектора  $R$  была использована неупругая модель Земли DDW99 (Dehant et al., 1999).

Оценка пригодности той или иной океанической модели для конкретного региона сводится к вычислению и минимизации остатка  $X$  ( $X, \chi$ ) между расчетным вектором  $B$  ( $B, \beta$ ) и модельным  $L$  ( $L, \lambda$ ), где расчетный вектор  $B$  равен:

$$B = A - R.$$

Для расчета вектора  $L$  ( $L, \lambda$ ) мы использовали приведенные выше 11 океанических моделей нагрузочные параметры которых были получены на общедоступном Интернет-ресурсе (<http://holt.oso.chalmers.se/loading/index.html>). Расчеты выполнялись в программе Tsoft (Van Camp, 2005).

Остаточный вектор  $X$  вычислялся по формуле:

$$X = B - L.$$

В идеальном случае остаточный вектор должен стремиться к нулю, но в случае глобальной модели наблюдается широкое изменение значений остаточного вектора от волны к волне, в результате чего довольно трудно оценить пригодность океанической модели и эффективность океанической коррекции простым усреднением полученных значений  $X$ . Поэтому мы применили метод «неидентичного средневзвешенного значения» в полосе суточного ( $D$ ) и полусуточного ( $SD$ ) цикла (Sun et al., 2005). Он основан на анализе амплитуд различных приливных составляющих.

Чтобы оценить эффективность океанических моделей нормируем полученные амплитуды векторов  $B$  и  $X$  по амплитуде приливного вектора  $R_{DDW}$  ( $B/R_{DDW}$  и  $X/R_{DDW}$ ) модели DDW (Dehant et al., 1999). По следующим формулам рассчитываем средневзвешенные значения для остаточных амплитуд  $M_B$  и  $M_X$  в соответствующей полосе частот суточного  $D$  и полусуточного  $SD$  цикла (Sun et al., 2005):

для суточного цикла:

$$MD(i) = [2A_{O1} + AP_1 + 3AK_1] / 6,$$

для полусуточного цикла:

$$MSD(i) = [2AM_2 + AS_2] / 3,$$

где  $i = 1$  для наблюдаемого вектора  $B$ ,  $i = 2$  для остаточного вектора  $X$ ,  $A$  – амплитуда, нормированная по  $R_{DDW}$  для соответствующей волны (указана в подстрочном индексе).

Эффективность океанических моделей рассчитывается следующим образом (Sun et al., 2005):

для суточного цикла:  

$$E_D(i) = (MD_B - MD_X) / MD_B,$$

для полусуточного цикла:  

$$E_{SD}(i) = (MSD_B - MSD_X) / MSD_B.$$

На диаграмме (рис. 5) показано, что эффективность как для суточных, так и для полусуточных волн находится в пределах 60%-70%, за исключением модели SCHW с более редкой сеткой наблю-

дений. Здесь наблюдаются минимальные значения в суточном (менее 60%) и полусуточном (около 10%) циклах. В полусуточном цикле эффективность некоторых моделей превышает 70%. Суммарная эффективность большинства океанических моделей оценивается чуть менее 70%.

Еще одним способом оценки приливных моделей является расчет остаточной части амплитудной и фазовой реакции на приливную силу тяжести для главных волн (рис. 6).

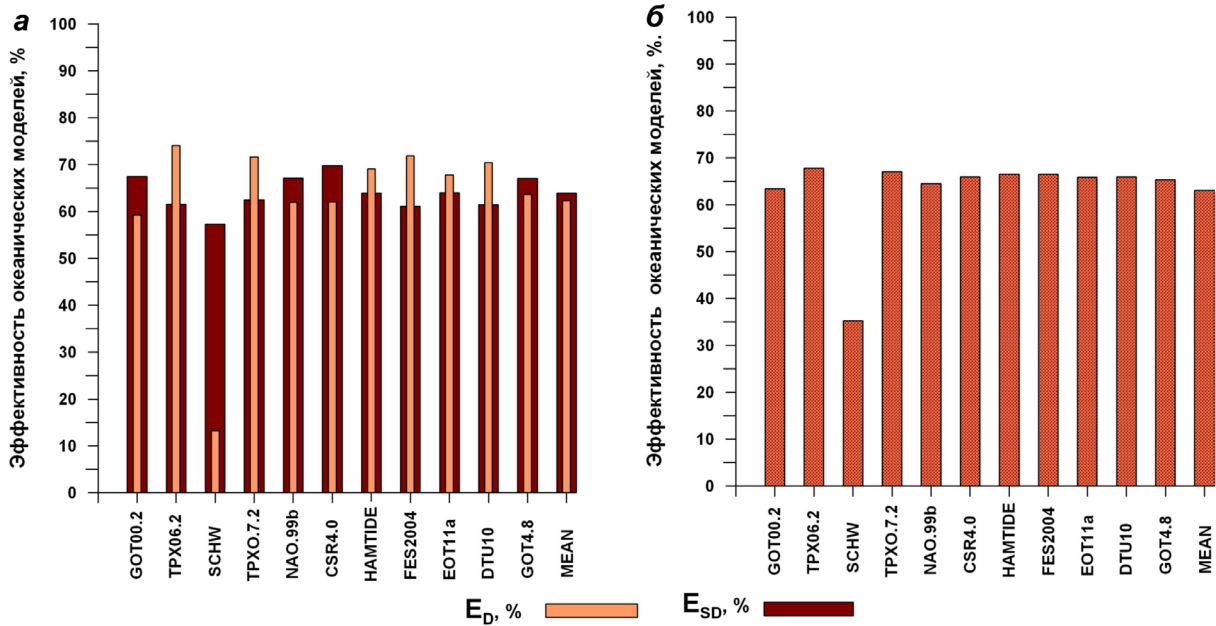


Рис. 5. Эффективность применения океанических моделей: а – эффективность для суточных и полусуточных волн отдельно; б – общая эффективность. ED – суточная эффективность, ESD – полусуточная.

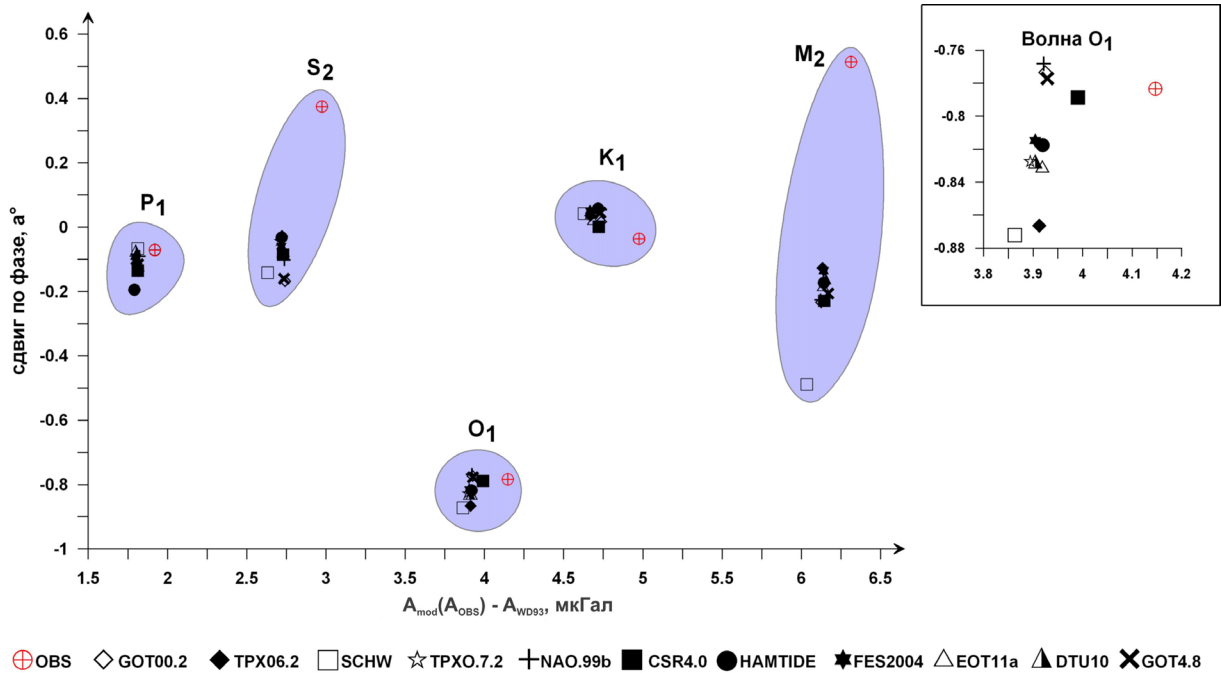


Рис. 6. Оценка приливных моделей: по горизонтальной оси – разность амплитуд между модельным ( $A_{mod}$ ) или наблюдаемым ( $A_{OBS}$ ) и астрономическим приливом  $A_{WD93}$  (Dehant, 1987) По вертикальной оси – сдвиг по фазе. Буквами обозначены: OBS – наблюдаемый вектор, GOT00.2, TPX06.2, SCHW, TPX0.7.2, NAO.99b, CSR4.0, HAMTIDE, FES2004, EOT11a, DTU10, GOT4.8 – наблюдаемый вектор в вычетом океанической нагрузки, рассчитанной по соответствующей приливной модели.

Из рис.6 следует, что суточные волны ( $O_1$ ,  $P_1$ ,  $K_1$ ) имеют меньший разброс значений относительно наблюдаемого прилива, а волна  $P_1$  еще и меньше всего отклоняется от астрономического прилива по амплитуде и фазе. У полусуточных волн наблюдается большой разброс значений по фазе (наибольший у волны  $M_2$ ), причем по амплитуде разброс небольшой.

Так же было рассчитано отклонение модельных значений относительно эластичной Земли  $R_{DDW}$  (Dehant et al., 1999) до и после исключения океанической нагрузки из наблюдаемых значений (в процентах) (рис.7).

После коррекции океанической нагрузки приливными моделями полученные значения амплитуд основных волн в суточном цикле приблизились к амплитуде вектора  $R_{DDW}$ . Наблюдаемая в исходных данных недокомпенсация (от -1.5 % до -1.7%) уменьшилась, сменившись незначительным расхождением между теоретической и скорректированной моделью (от 0.4 % до 0.8%). В полусуточном цикле наблюдается сложная картина: после коррекции океанической нагрузки амплитуда волны  $M_2$  приблизилась к амплитуде  $R_{DDW}$ , поменяв знак расхождения на положительный. Отклонение для  $M_2$  сократилось в среднем с -0.6 % до 0.4 %, за исключением

модели SCHW. Здесь это значение составило почти 0.6 %. Расхождение для солнечной волны  $S_2$  не уменьшилось после коррекции, а, поменяв знак, увеличилось в среднем с -0.4 % до 1.2 %, а для модели SCHW – до 1.6%. Это, возможно, связано с малой изученностью приливных эффектов в рассматриваемом районе, формой береговой линии, рельефом дна, географическим положением точки наблюдения и близостью к широте  $45^\circ$ , где теоретически суточные волны должны быть более выражены, чем полусуточные (Мельхиор, 1968). Такое явление описано в некоторых литературных источниках (Марчук, Каган, 1977) и носит название диссипации, когда наблюдается частичное рассеивание энергии океанических приливов за счет влияния граничных условий на разделе «океан-суша», таких как размер залива, форма береговой линии, рельеф дна и др. Вероятно, в данном случае мы наблюдаем диссипацию волн полусуточного цикла.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

В результате выполненного исследования определены амплитуды и фазы главных приливных волн. Установлено, что наиболее помехозащищенными являются лунно-солнечная

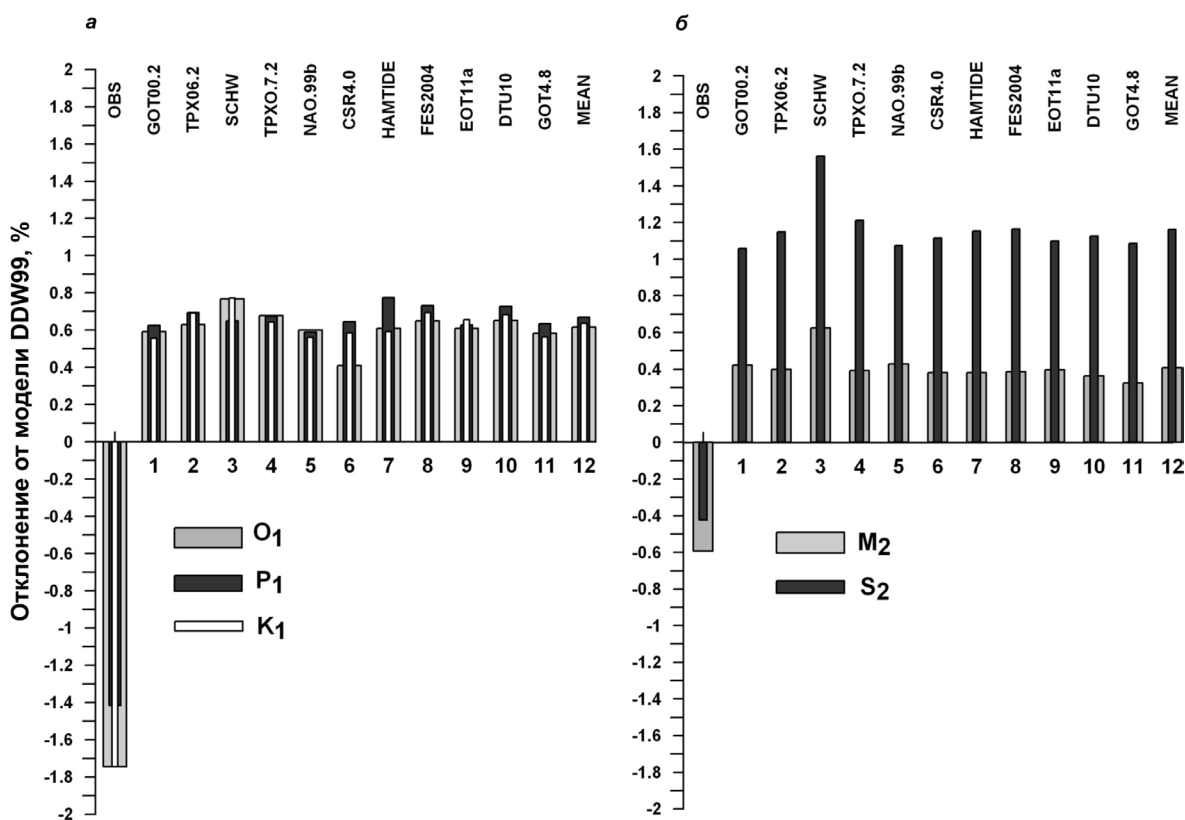


Рис. 7. Разность амплитуд суточных ( $O_1$ ,  $P_1$ ,  $K_1$ ) и полусуточных ( $M_2$ ,  $S_2$ ) волн наблюдаемого вектора (OBS) или наблюдаемого вектора после коррекции приливными моделями (GOT00.2, TPX06.2, SCHW, TPXO.7.2, NAO.99b, CSR4.0, HAMTIDE, FES2004, EOT11a, DTU10, GOT4.8) океанической нагрузки и вектора  $R_{DDW}$  модели неупругой Земли (Dehant et al., 1999): а – суточные волны; б – полусуточные волны, (OBS – наблюдаемые значения, MEAN – осредненные значения после коррекции по 11 приливным моделям).

волна  $K_1$  из суточных и главная лунная волна  $M_2$  из полусуточных. Длиннопериодные волны выделены только качественно, их количественные оценки на данном этапе исследований неудовлетворительны.

Оценка эффективности рассматриваемых моделей (рис. 5) показала, что в диапазоне суточных волн наиболее эффективной оказались модели CSR4.0, GOT00.2 и GOT4.8, наименее эффективной – SCHW. В полусуточном диапазоне оценки эффективности получились чуть выше: лидером в этой группе стали модели TPX06.2 и TPX.7.2; модель SCHW имеет минимальный показатель этого параметра. Осредненные значения эффективности для обеих групп волн показали весьма ровное распределение: максимальные значения – у моделей TPX.7.2 и TPX06.2, минимальные – у SCHW.

Сопоставление центрированных значений наблюдаемых и скорректированных данных относительно теоретического прилива модели WD93 (Dehant, 1987) (рис. 6) показало, что для большинства главных приливных волн все модели корректно убирают фазовый сдвиг, обусловленный влиянием океанической нагрузки, за исключением волны  $O_1$ . Амплитуды как наблюдаемых, так и скорректированных волн стабильно превышают амплитуды теоретического прилива.

Сравнение амплитуд наблюдаемого сигнала и скорректированных значений с амплитудами теоретического прилива модели DDW99 (Dehant et al., 1999) (рис. 7) показало эффективность введения нагрузочных поправок в исходные наблюдения. В группе суточных волн расхождения сократились в среднем с -1.7% до 0.6%. Здесь отмечаются относительно равномерные значения по всем моделям. Только модель CSR4.0 имеет наилучшую сходимость по группе суточных волн для  $O_1$ , но разность для волн  $K_1$  и  $P_1$  не превышает среднее значение по группе.

В группе полусуточных волн разность наблюдаемых значений и модели DDW99 составила -0.6% и -0.4% для волн  $M_2$  и  $S_2$  соответственно. Введение коррекции океанической нагрузкой не привело к значимой минимизации расхождений. Для волны  $M_2$  разность с теоретической моделью сократилась до 0.3% (наилучший показатель у GOT4.8), что является несущественным в свете абсолютных значений отклонений. Для солнечной волны  $S_2$  приливная коррекция не только не приблизила значения поля к теоретическим, но и увеличила расхождения от 1.05% для модели GOT4.8 до 1.3% – для TPX0.7.2. Это вероятно связано с диссипацией волн полусуточного цикла.

В результате выполненного исследования установлено, что большинство рассматриваемых моделей для коррекции океанической нагрузки

показывают схожие, удовлетворительные результаты. Одна из первых и самых старых моделей – модель SCHW – показала наихудший результат и является, на наш взгляд, неактуальной для учета океанической нагрузки, но может использоваться как своеобразный эталон при разработке и сравнении новых приливных моделей. При снятии нагрузочного эффекта из наблюдаемых данных минимальные расхождения с теоретической моделью упругой Земли получены в результате применения моделей TPX06.2, TPX.7.2, GOT4.8, CSR4.0 и NAO99b. Эти модели можно рекомендовать для учета влияния морской гидродинамики при сравнении вариаций гравитационного поля, полученных в прибрежной зоне залива Петра Великого, с данными, полученными в центральной части континента. Однако для изучения тонкой структуры непериодических вариаций поля силы тяжести необходимо использовать региональную модель, которая отражает все особенности строения геосфер исследуемого региона. В настоящее время такая модель для региона Японского моря отсутствует, однако начатый нами здесь мониторинг вариаций гравитационного поля создает необходимую базу для ее создания.

Коллектив авторов благодарит сотрудников морской экспериментальной станции «м. Шульца» ТОИ ДВО РАН за обеспечение условий круглогодичного мониторинга вариаций гравитационного поля Земли.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Мировой океан» и грантов ДВО РАН 14-III-Д-07-029, 13-III-Д-07-004, 10-III-Д-07-033.

#### Список литературы

- Антонов, Ю.В. Антонова И.Ю., Рыбин А.К. и др. Модуляция вариаций вертикального градиента силы тяжести и электромагнитного поля собственными колебаниями Земли // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2010. № 6. С. 101-105.
- Марчук Г.И., Каган Б.А. Океанические приливы. Математические модели и численные эксперименты. Ленинград: Гидрометеиздат, 1977. 294 с.
- Мельхиор П. Земные приливы. М.: Мир, 1968. 483 с.
- Миллюков В.К., Конаев А.В., Лагуткина А.В. и др. Наблюдения приливных деформаций земной коры в Приэльбрусье // Физика Земли. 2007. № 11. С. 21-29.
- Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Горнов П.Ю. и др. Косейсмические эффекты в дальней зоне Японского землетрясения 11.03.2011 (по данным космической геодезии и гравиметрии) // Известия высших учебных заведений.



- Геодезия и аэрофотосъемка. 2013. № 4/С. С. 93-98.
- Тимофеев В.Ю., Дюкарм Б., Ван Раумбеке М. и др.* Трансконтинентальный приливной профиль: атлантическое побережье Европы – юг Сибири – тихоокеанское побережье России // Физика Земли. 2008. № 5. С. 42-54.
- Dehant V.* Tidal parameters for an inelastic Earth // Phys. Earth Planet. Inter. 1987. V. 49. Iss. 1-2. P. 97-116.
- Dehant V., Defraigne P., Wahr J.* Tides for a convective Earth // JGR. 1999. V. 104. B1. P. 1035-1058.
- Melchior P.* Diurnal Earth Tides and the Earth's Liquid Core // Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society. 1966. V. 12. Iss. 1. P. 15-21.
- Penna N.T., Bos M.S., Baker T.F., Scherneck H.-G.* Assessing the accuracy of predicted ocean tide loading displacement values // J. Geodesy. 2008. V. 82. Iss. 12. P. 893-907.
- Sun H., Ducarme B., Xu H., Vandercoilden L. et al.* Adaptability of the ocean and earth tidal models based on global observations of the superconducting gravimeters // Science in China Ser. D Earth Sciences 2005. V. 48. P. 1859-1869.
- Van Camp M.* TSoft: graphical and interactive software for the analysis of time series and Earth tides / M. Van Camp, P. Vauterin // Computers & Geosciences. 2005. V. 31. № 5. P. 631-640.
- Wenzel H.G.* The nanogal software: Earth tide data processing package ETERNA3.30/Wenzel H.G. // Bull. Inf. Marées Terrestres. 1996. V. 124. P. 9425-9439.

## INVESTIGATION OF TIDAL GRAVITY IN THE TRANSITION ZONE FROM CONTINENT TO THE SEA OF JAPAN

**Z.N. Proshkina, M.G. Valitov, R.G. Kulinich, T.N. Kolpaschikova**

*V.I. Il'yichev Pacific Oceanological Institute Far Eastern Branch of RAS, Vladivostok, 690041*

The paper presents the results of the monitoring of tidal gravity variations at the junction between the Sea of Japan and Southern Primorye (Far East of Russia). The purpose of monitoring is to study the possible correlation between tidal and non-tidal gravity changes and geodynamics, hydrodynamics and seismogenic processes in the Sea of Japan region. The spectrum allocated to tidal waves and numerical values of the main tidal parameters (amplitude factor –  $\delta$  and the phase delay of the tidal wave –  $\alpha$ ), due to the viscoelastic properties of the regional geospheres was calculated. The authors used the optimal theoretical models of the so-called oceanic load to reveal the gravity variations caused by tidal deformations.

*Keywords: gravity variations, oceanic tidal model, the tidal deformation of the solid Earth.*