

УДК 550.3: 550:51

О НЕПРАВИЛЬНОЙ ОЦЕНКЕ РОЛИ ПРИЛИВНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ГЕОФИЗИКЕ*

© 2010 г. Н.С. Сидоренков

ГУ “Гидрометцентр России”, г. Москва, Россия

Для построения астрономической теории приливов используется солнечная система отсчета. В ней видимая угловая скорость каждой из приливных волн складывается из ее собственной угловой скорости и переносной скорости, включающей угловые скорости спинового вращения и орбитального обращения Земли вокруг Солнца. Переносная скорость в десятки и сотни раз больше, собственной скорости приливных волн. Поэтому все множество приливных волн, описываемых тиссеральными и секториальными сферическими гармониками, имеют угловые скорости близкие соответственно к суточной и полусуточной частотам.

Для изучения волн в атмосфере и океане метеорологи и океанологи строят координатно-временные разрезы гидрометеорологических характеристик с временным шагом сутки и более. В этом случае по умолчанию используется система отсчета, связанная не с Солнцем, а с неподвижной земной поверхностью, с фиксированной сеткой географических координат. В этой невращающейся земной системе отсчета переносной скорости уже нет, но остаются скорости собственного движения приливных волн относительно земной поверхности. Однако об их существовании никто не подозревает, и они не изучаются. Все медленные волны, перемещающиеся по земной поверхности, включая и приливные волны, интерпретируются как обычные атмосферные или океанические волны.

Ключевые слова: компоненты атмосферного углового момента, спектры мощности; координатно-временные разрезы, нормальные моды атмосферы, солнечная и невращающаяся земная системы отсчета, собственная и видимая скорости приливных волн.

В 1999 г. в США завершились работы по реанализу метеорологических наблюдений с 1948 г. Получены уникальные объективные анализы полей ветра на всех стандартных изобарических поверхностях (1000, 925, 850 гПа и т.д. вплоть до 10 гПа) с шагом 6 ч. Основываясь на этих данных, Давид Салстейн (Бюро атмосферного углового момента США) вычислил шестидесятилетние временные ряды компонентов момента импульса ветров всей атмосферы с шагом 6 ч [Salstein et al., 1993].

Как известно [Сидоренков, 2002; Sidorenkov, 2009], вектор момента импульса атмосферы $\mathbf{h} = h_1\mathbf{e}_1 + h_2\mathbf{e}_2 + h_3\mathbf{e}_3$ отклонен от полярной оси на угол $\beta = \arctg(h_e/h_3)$ (в июне $\beta \approx 2^\circ$) и вращается с востока на запад, описывая коническую поверхность. Вершиной конуса является центр Земли, а направляющей – кривая, проекция которой на экваториальную плоскость совпадает с траекторией экваториального вектора $\mathbf{h}_e = h_1\mathbf{e}_1 + h_2\mathbf{e}_2$. Апертура конуса, описываемого вектором \mathbf{h} , равна модулю вектора \mathbf{h}_e .

Момент импульса атмосферных ветров характеризует вращение всей атмосферы относительно поверхности Земли [Сидоренков, 2002]. Компонент h_3 характеризует вращение атмосферы относительно оси вращения Земли, т.е. интенсивность зональной циркуляции. Компоненты h_1 и h_2 характеризуют вращение атмосферы относительно осей, лежащих в экваториальной плоскости и направленных из центра Земли соответственно на меридиан Гринвича и 90° в.д., т.е. они дают представление об интенсивности меридиональной циркуляции.

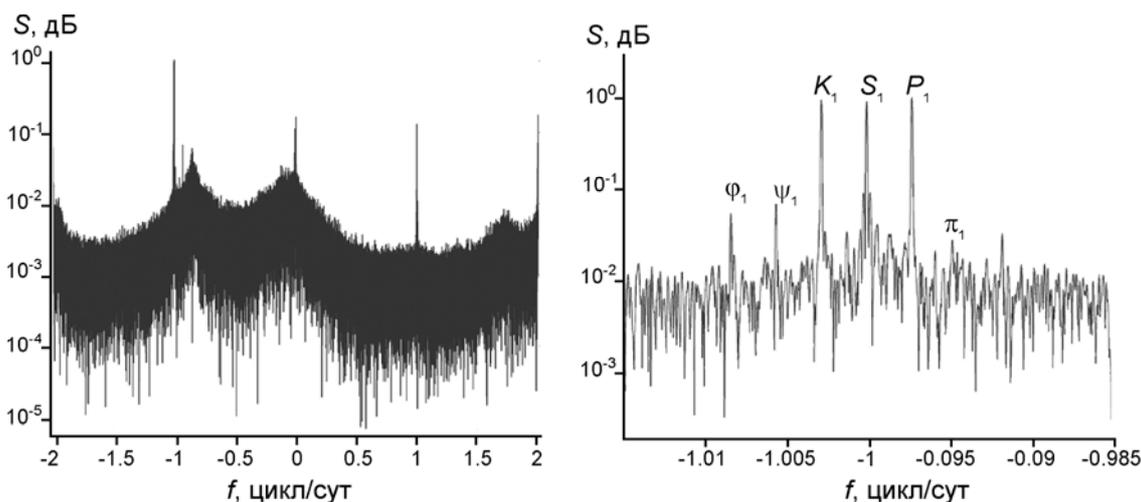


Рис. 1. Спектр временного ряда $h_1 + ih_2$ (слева) и его суточная область (справа). Интервал дискретности временного ряда – 6 ч

Спектр мощности S комплексного ряда $\mathbf{h}_e = h_1 + ih_2$ мы вычислили с помощью реализующей комплексное быстрое преобразование Фурье программы Х. Бизу (Ch. Bizouard), любезно подаренной нам ее автором. Использовались 86200 шестичасовых значений h_1 и h_2 за 1948–2006 гг. Полученный спектр S приведен на рис. 1, где по оси ординат в децибелах отложены значения спектральной плотности в логарифмическом масштабе, а по оси абсцисс – частоты в циклах за среднесолнечные сутки. Знак минус указывает на движение с востока на запад, плюс – с запада на восток.

На рис. 1 видна мощная полоса на частоте -1 сут^{-1} , справа от нее одиночная линия на частоте -0.9295 сут^{-1} , соответствующая в разложении приливного потенциала главной лунной волне O_1 , высокие полосы в области самых низких ($\approx 0 \text{ сут}^{-1}$) и высоких частот ($\pm 2 \text{ сут}^{-1}$). В области положительной суточной частоты ($+1 \text{ сут}^{-1}$) пик во много раз меньше, чем на частоте -1 сут^{-1} . Заметной особенностью спектра S является мощный широкий максимум около частоты -0.85 сут^{-1} . Минимумы спектральной плотности отмечаются соответственно около частот ± 0.5 и $\pm 1.5 \text{ сут}^{-1}$. Интересно, что вблизи положительной частоты $+1.7 \text{ сут}^{-1}$ тоже заметен слабый максимум, напоминающий по форме максимум -0.85 сут^{-1} .

Самой интригующей деталью комплексного спектра $h_1 + ih_2$ является размытый максимум спектральной плотности около частоты -0.85 сут^{-1} . Его высота свидетельствует о большой мощности этих колебаний, а ширина указывает на значительные флуктуации периода колебаний. Чем объясняется отмеченный феномен и почему атмосферная циркуляция столь сильно шумит в этой частотной области?

В работах по атмосферным приливам есть указание на существование нормальной антисимметричной моды ψ_1^1 (волна Янаи с азимутальным волновым числом $s=1$ и с периодом 1.2 сут) [Hamilton, Garsia, 1986; Volland, 1988; Brzezinski et al., 2002]. Указанная мода соответствует волне, движущейся в атмосфере с востока на запад. С этих позиций объясняется и небольшой аналогичный по форме максимум в области удвоенной частоты 1.7 сут^{-1} (см. рис. 1), так как имеется также антисимметричная мода ξ_2^1 с периодом 0.6 сут.

Однако синоптики, занимающиеся повседневно атмосферными возмущениями и волнами, видят только крупномасштабные волны Россби–Блиновой и синоптические вихри, которые смещаются не с востока на запад, а с запада на восток. В большей части атмосферы господствует западно-восточный перенос и почти все возмущения движутся с запада на восток. Во внетропических широтах мощные возмущения, движущиеся в противоположном направлении, практически отсутствуют.

Размышляя над этим противоречием, автор нашел принципиально новое объяснение спектра колебаний вектора \mathbf{h}_e , заключающееся в следующем. Ряд h_1+ih_2 вычислен по данным метеорологических наблюдений в фиксированные сроки Всемирного координированного времени (*UTC*) (кратные 6 ч). Измерение времени производится по неподвижным звездам инструментами, установленными на поверхности Земли. Инструмент, вращающийся вместе с Землей, исполняет роль стрелки часов, а звезды служат их циферблатом. По отсчитанному звездному времени вычисляется среднесолнечное время *UTC*. Таким образом, результаты метеорологических измерений содержат как собственные угловые скорости движущихся в атмосфере возмущений $\dot{\mu}_i$, так и угловую скорость видимого вращения Солнца на небосводе \dot{i} . Видимые угловые скорости $\dot{\nu}_i$ колебаний компонентов h_1+ih_2 есть сумма собственных угловых скоростей возмущений $\dot{\mu}_i$ и угловой скорости видимого вращения среднего Солнца $\dot{i} = -1$ цикл/сут (знак минус из-за вращения Солнца с востока на запад по часовой стрелке): $\dot{\nu}_i = \dot{\mu}_i + \dot{i} = \dot{\mu}_i - 1$ цикл/сут. Исследователь, пытающийся интерпретировать результаты наблюдений, находится на Земле. Он не ощущает суточное вращение Земли, и изучение всех атмосферных возмущений проводит по синоптическим картам, либо координатно-временным разрезам (*Hovmoeller diagram*), т.е. относительно неподвижных объектов земной поверхности. Как правило, используется временной шаг сутки и более. Видимое вращение Солнца при этом исключается из рассмотрения, и возмущения имеют угловые скорости $\dot{\mu}_i = \dot{\nu}_i - \dot{i}$. В случае наблюдаемой угловой скорости $\dot{\nu} = -0.85$ цикл/сут собственная угловая скорость волны возмущения есть $\dot{\mu} = -0.85 - (-1) = +0.15$ цикл/сут. Соответственно период возмущений равен примерно 7 сут. Эти возмущения есть уже не волны Янаи, движущиеся с востока на запад, а волны (Россби–Блиновой), смещающиеся с синоптическими образованиями с запада на восток (в положительном направлении). Они особенно хорошо видны на долго-одно-временных разрезах в атмосфере и океане. В качестве примера на рис. 2 приведен такой разрез для среднесуточных аномалий высоты изобарической поверхности 500 гПа в атмосфере на широте 40° с.ш. за январь 2009 г.

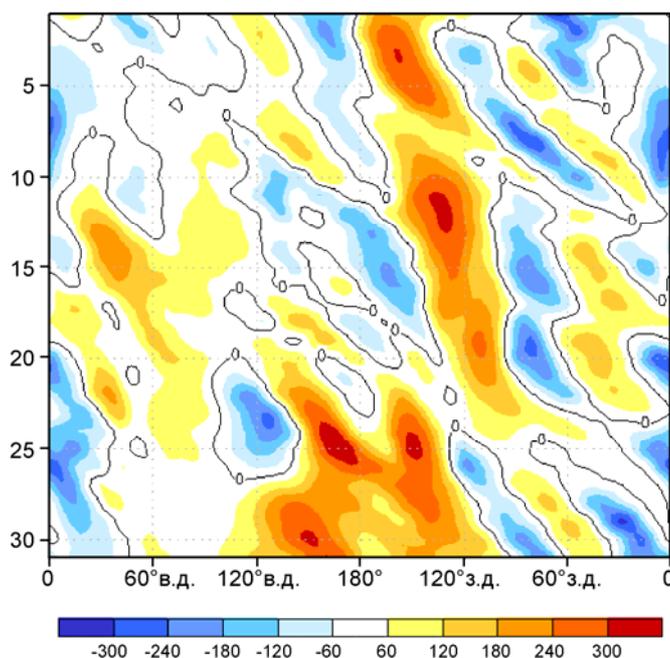


Рис. 2. Долготно-временной разрез аномалий высоты изобарической поверхности 500 гПа на 40° ю.ш. Ноябрь 2004 г. (*Climate diagnostics bulletin*, № 04/11, CPC)

Время (сутки) отложены на оси ординат, долгота – на оси абсцисс. Отчетливо видны вытянутые и наклонные вниз гребни (положительные аномалии) и ложбины (отрицательные аномалии). Наклон траекторий, указывает на их смещение со временем с запада на восток. Эти возмущения, движущиеся в умеренных широтах в основном с запада на восток со скоростями 10^{-5} – 10^{-7} рад/с в эмпирической метеорологии называют смешанными Россби-гравитационными волнами.

Как же избавиться от осложнений, вносимых вращением Земли в спектры геофизических характеристик?

Чтобы надежно выявить неизвестные волны возмущений любого временного ряда необходимо исключить суточную угловую скорость i , т.е. демодулировать колебания $h_1 + ih_2$. Для этого будем использовать наблюдения строго через сутки. В этом случае будет анализироваться только огибающая амплитуды несущей частоты. Поэтому суточная частота исчезнет, но останутся все частоты ниже 1/2 цикл/сут.

Мы вычислили спектры для ряда $h_1 + ih_2$ с 1948 г. по 2006 г. для каждого фиксированного срока наблюдения в отдельности (т.е. с разрешением 24 ч). Все спектры для каждого из четырех сроков получились однотипными, поэтому здесь приводится спектр только ряда $h_1 + ih_2$ за 12 ч UTC (рис. 3).

К сожалению, спектр ряда с фиксированным сроком уже не содержит информации о суточных и внутрисуточных составляющих. Видно, что спектр радикально изменился. Из области отрицательных частот волны O_1 и $Yanai$ исчезли, трансформировавшись соответственно в полумесячную волну (13.7 сут) и семейство квазинедельных (6.8 сут) лунных приливных волн, движущиеся в положительном (с запада на восток) направлении. Именно эти приливные волны и видны обычно на синоптических картах и долготно-временных разрезах.

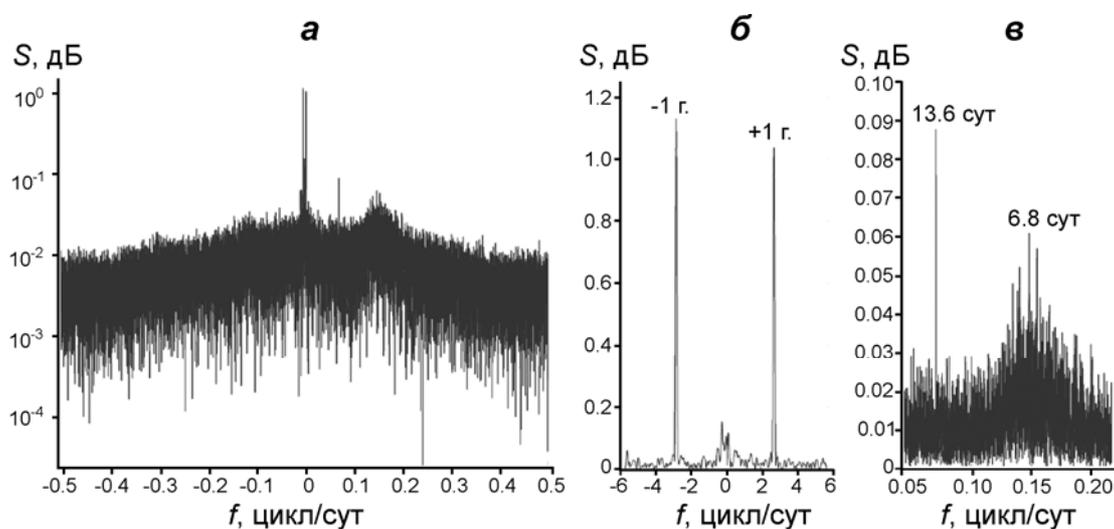


Рис. 3. Спектр ряда $h_1 + ih_2$ за 12 ч UTC (а) и его близгодовая (б) и внутримесячная (в) области. Интервал дискретности временного ряда – 24 ч

Таким образом, роль приливов в динамике атмосферы и океана недооценивается из-за неправильной интерпретации результатов анализа наблюдений. Дело в том, что все измерения гидрометеорологических и гидрофизических характеристик проводятся по срокам среднесолнечного времени, которое есть часовой угол Солнца, определяемый суточным вращением и годовым обращением Земли. То есть, здесь по умолчанию используется система отсчета относительно Солнца (в дальнейшем солнечная система отсчета). В ней видимые скорости движения приливных волн складываются из скоростей их собственных движений и переносной скорости. Скорость переносного

движения возникает из-за суточного вращения Земли и годового обращения Земли вокруг Солнца. Она очень велика по сравнению со скоростями собственного движения приливных волн.

Периоды основных суточных волн отличаются от 1 сут всего лишь на несколько минут, т.е. на сотые доли суток (таблица). Самая быстрая лунная волна $2Q_1$ имеет период 1.17 сут. Именно поэтому в солнечной системе отсчета мы имеем дело только с квазисуточными приливными волнами и их субгармониками.

При спектральном или гармоническом анализе результатов измерений низкочастотные волны гравитационных приливов сливаются с гармониками суточных, либо годовых термических приливов и становятся практически незаметными для изучения.

Характеристики основных приливных волн в солнечной и земной системах отсчета

Обозначение	Аргументное число	Аргумент собственной скорости	Видимая скорость, градус/ч	Период видимого движения, сут	Период собственного движения, сут	Амплитуда, см ² /с ²	Происхождение: Л. – лунная; С. – солнечная
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Суточные приливы</i>							
$2Q_1$	125.755	$-4s+2p$	-12.854286	-1.1669	6.86	130	Л. эллиптическая второго порядка
σ_1	127.555	$2h-4s$	-12.92714	-1.1604	7.10	157	Л. вариационная
Q_1	135.655	$-3s+p$	-13.398661	-1.1195	9.13	981	Л. большая эллиптическая с O_1
ρ_1	137.455	$2h-3s-p$	-13.471515	-1.1135	9.56	186	Л. большая эвекционная
O_1	145.555	$-2s$	-13.943036	-1.0758	13.66	5125	Главная Л. деклинационная
τ_1	147.555	$2h-2s$	-14.025172	-1.0695	14.77	-67	Л.
M_1	155.655	$-s+p$	-14.496694	-1.0347	27.55	-403	Л. малая эллиптическая с mK_1
χ_1	157.455	$2h-s-p$	-14.569547	-1.0295	31.81	-77	Л.
π_1	162.556	$-3h+p_s$	-14.917865	-1.0055	121.7	139	С. эллиптическая с P_1
P_1	163.555	$-2h$	-14.958931	-1.0027	182.6	2380	Главная С. деклинационная
S_1	164.556	$-h+p_s$	-15.000002	-1.0	365.26	-57	С. эллиптическая с sK_1
	165.545	$-N'$	-15.038862	-0.9974	18.61 г.	143	Л.
mK_1	165.555		-15.041069	-0.9973	∞	-4925	Л. деклинационная
sK_1	165.555		-15.041069	-0.9973	∞	-2280	С. деклинационная
	165.565	N'	-15.043275	-0.9971	-18.61 г.	-978	Л.
ψ_1	166.554	$h-p_s$	-15.082135	-0.9946	-365.26	-57	С. эллиптическая с sK_1
ϕ_1	167.555	$2h$	-15.123206	-0.9918	-182.6	-102	С. деклинационная
ζ_1	173.655	$s-2h+p$	-15.512590	-0.9670	-31.81	-77	Л.
J_1	175.455	$s-p$	-15.585443	-0.9624	-27.55	-403	Л. эллиптическая с mK_1
SO_1	183.555	$2s-2h$	-16.056964	-0.9342	-14.77	-67	Л.
OO_1	185.555	$2s$	-16.139102	-0.9294	-13.66	-220	Л. деклинационная второго порядка
V_1	195.455	$3s-p$	-16.683476	-0.8991	-9.13	-42	Л.

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Полусуточные приливы</i>							
$3N_2$	225.855	$-5s+3p$	-27.350980	-0.5484	5.49/2.74	+35	Л.
ε_2	227.655	$-5s+2h+p$	-27.423834	-0.5470	5.64/2.82	+91	Л.
$2N_2$	235.755	$-4s+2p$	-27.895355	-0.5377	6.86/3.43	+313	Л. эллиптическая второго порядка с M_2
μ_2	237.555	$2h-4s$	-27.968208	-0.5363	7.10/3.55	+378	Л. вариационная
N_2	245.655	$-3s+p$	-28.439730	-0.5274	9.13/4.56	+2366	Главная Л. эллиптическая с M_2
ν_2	247.455	$2h-3s-p$	-28.512583	-0.5261	9.56/4.78	+449	Л. большая эвекционная
γ_2	253.755	$-2s-2h+2p$	-28.911251	-0.5188	9.81/4.90	-37	Л.
α_2	254.556	$2s-h+p_s$	-28.943038	-0.5183	13.16/6.58	-42	Л.
M_2	255.555	$-2s$	-28.984104	-0.5175	13.66/6.83	+12356	Главная Л.
λ_2	263.655	$-s-2h+p$	-29.455625	-0.5092	23.94/11.97	-91	Л. малая эвекционная
L_2	265.455	$-s-p$	-29.528479	-0.5080	27.09/13.54	-349	Л. малая эллиптическая с M_2
$2T_2$	271.557	$-4h+2p_s$	-29.917866	-0.5014	91.31/45.66	14	С.
T_2	272.556	$-3h+p_s$	-29.958933	-0.5007	121.75/60.88	+336	С. большая эллиптическая с S_2
S_2	273.555	$-2h$	-30.000000	-0.5	182.62/91.31	+5738	Главная С.
R_2	274.554	$-h-p_s$	-30.041067	-0.4993	365.22/182.61	-48	С. малая эллиптическая с S_2
mK_2	275.555		-30.082137	-0.4986	∞	+1067	Л. деклинационная
sK_2	275.555		-30.082137	-0.4986	∞	+495	С. деклинационная
	275.565	N'	-30.084344	0.4986	-18.61/-9.3 г.	+465	Л.
ζ_2	285.455	$s-p$	-30.626512	0.4898	-27.55/-13.8	+87	Л.

В гидрометеорологии все движения в атмосфере и океане анализируются по синоптическим картам или долготно-временным разрезам относительно земной поверхности с временным шагом сутки и более. В этом случае по умолчанию используется система отсчета, связанная не с Солнцем, а с неподвижной земной поверхностью, с фиксированной сеткой географических координат. В этой невращающейся земной системе отсчета переносной скорости уже нет, но остаются скорости собственного движения приливных волн относительно земной поверхности. Гидрометеорологии обращают внимание только на предсказываемые астрономической теорией быстрые, квазисуточные и квазиполусуточные приливные волны. О медленных, собственных скоростях движения приливных волн никто не знает, и они не изучаются. Все медленные волны, перемещающиеся по земной поверхности, включая и приливные волны, интерпретируются как обычные длинные атмосферные или океанические волны.

Ошибку, возникающую из-за различия выбора систем отсчета в астрономии и геофизике, легко понять на следующем примере. Пусть мы располагаем результатами измерений скорости движения экваториального облачного скопления с помощью двух радаров. Один расположен на Земле, а другой на вземном космическом корабле. Земной радар дал смещение скопления на восток со скоростью 20 м/с, а вземной – 485 м/с. Спрашивается, почему результаты измерений скорости одного и того же объекта отличаются в почти в 24 раза? Ответ очевиден: результаты радикально отличаются из-за различия выбранных систем отсчета. Радар на космическом корабле измерял аб-

солютную скорость, слагающуюся из переносной скорости вращения атмосферы на экваторе $\omega R=465$ м/с и собственной скорости скопления 20 м/с. А земной радар фиксировал только собственную скорость скопления относительно земной поверхности. Аналогично угловые скорости приливных волн в солнечной системе отсчета в сотни раз больше, чем в земной системе отсчета из-за включения в них угловых скоростей суточного вращения и годового орбитального обращения Земли.

Для того чтобы низкочастотные приливные волны не терялись при спектральном анализе, необходимо исключать эффекты вращения и обращения Земли, то есть демодулировать временные ряды измерений. Для этого достаточно зафиксировать срок измерений (одно измерение: за сутки, для исключения суточного вращения Земли, или за год, для исключения годового обращения Земли). Этот метод демодуляции позволил выделить недельную и полумесячную лунные приливные волны в спектре момента импульса атмосферы [Sidorenkov, 2009]. Он открывает новые возможности исследования эффектов лунно-солнечных приливов и функций барицентрического движения Солнца на геофизические процессы.

Оппоненты могут сказать, что предлагаемый метод демодуляции дает кажущийся стробоскопический эффект, а собственных угловых скоростей у приливных волн нет. В ответ на это возражение автор напоминает, что приливные волны – это образования в земных оболочках, генерируемые определенными возмущениями гравитационного поля, имеющими свои собственные скорости $\dot{\mu}_i$, никак не зависящие от угловой скорости вращения Земли ω . Собственные угловые скорости $\dot{\mu}_i$ определяются собственными движениями Луны и Солнца среди неподвижных звезд на небесной сфере. Гравитационное поле окутывает Землю. Земля вращается с запада на восток со скоростью гораздо большей $|\dot{\mu}_i|$ ($\omega \gg |\dot{\mu}_i|$), поэтому наблюдатель, сидящий на Земле, видит движение приливных волн с востока на запад с квазисуточной частотой и ее субгармониками.

Стоячие возмущения вектора $h_1 + ih_2$ можно демодулировать, анализируя ряд модуля этого вектора. Дело в том, что фаза суточных колебаний компоненты h_1 отстает на 6 ч или 90° от фазы h_2 , т.е., в соответствие с моделью амплитудно модулированных колебаний, имеем

$$h_1 = A(1 + m \cos \Omega t) \cos \omega t; \quad (1)$$

$$h_2 = A(1 + m \cos \Omega t) \sin \omega t. \quad (2)$$

Здесь ω – суточная частота; Ω – частота модуляции; m – глубина модуляции; A – амплитуда. Вычислив модуль вектора h_e , получим

$$h_e = \sqrt{h_1^2 + h_2^2} = A(1 + m \cos \Omega t), \quad (3)$$

т.е. модуль h_e имеет совершенно другой спектр, чем компоненты h_1 и h_2 . В нем нет несущей ω и боковых частот $\omega \pm \Omega$, но имеется частота модуляции Ω .

Мы проделали необходимые вычисления и получили временной ряд модуля вектора $h_e = \sqrt{h_1^2 + h_2^2}$ за 1958–1999 гг. с шагом 6 ч. Спектр мощности полученного ряда h_e приведен на рис. 4. Так как у этого спектра основная энергия сосредоточена в области низких частот, то, в отличие от рис. 1 здесь на обеих осях используется логарифмический масштаб. На рис. 4 видны мощные пики на низких частотах $1/365$, $1/183$ и $1/122$ сут⁻¹. Это соответственно годовая, полугодовая и третьегодовая частоты. Они являются основными частотами модуляции суточного термического прилива S_1 . Амплитудная модуляция волны S_1 годовой частотой приводит к появлению в спектрах компонент h_1 и h_2 приливных волн на частотах гравитационных приливов P_1 и K_1 ; полугодовой частотой – на частотах π_1 и ψ_1 и третьегодовой частотой – на боковых

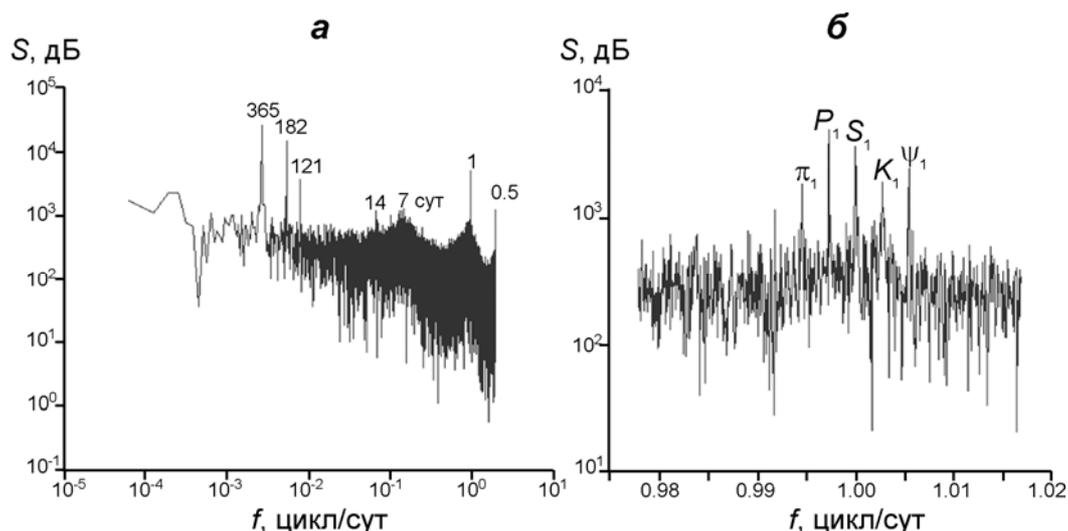


Рис. 4. Спектр ряда модуля вектора $h_e = \sqrt{h_1^2 + h_2^2}$ (а) и его близуточная область (б)

частотах 0.9918 сут^{-1} и 1.0083 сут^{-1} . Последняя соответствует волне гравитационного прилива φ_1 (см. рис. 1).

Энергия близуточной полосы в спектре модуля вектора \mathbf{h}_e уменьшилась на порядок. Полностью исчезла главная лунная волна O_1 , но появились пики в области частот, соответствующей половине лунного месяца. В спектре модуля вектора \mathbf{h}_e также исчез обширный максимум в окрестностях частоты -0.85 сут^{-1} , но появился широкий максимум около недельной частоты. Он свидетельствует о том, что модуль вектора \mathbf{h}_e изменяется с квазинедельным периодом, варьирующим от 5 до 8 сут.

Солнце, помимо гравитационного воздействия, разогревает освещенную сторону Земли, порождая комплекс сложных гидрометеорологических явлений в атмосфере, гидросфере и литосфере. Возникают конвективное перемешивание, фазовые превращения водяного пара, атмосферная и океаническая циркуляции. Гидрометеорологические явления в каждой точке Земли зависят от амплитуд и фаз приливных волн. Например, днем и летом ясная погода, вызванная приливом, будет способствовать прогреву, а ночью и зимой – выхолаживанию. Стохастические возмущения в атмосфере, Мировом океане и биосфере синхронизируются с частотами приливных волн. В итоге, как показывают эмпирические исследования, частоты характеристик атмосферы, гидросферы и биосферы часто совпадают с собственными угловыми скоростями $\dot{\mu}_i$ приливных волн.

Мы вычислили периоды собственного движения основных суточных и полусуточных волн лунно-солнечных приливов. Они приведены в шестом столбце таблицы. В случае полусуточных волн угловая скорость $\dot{\mu}_i$ собственного движения каждой волны такая же, как у соответствующих суточных волн. Соответствующий ей период дан в числителе дроби. Однако поскольку на параллели имеются две волны, то фактический период в два раза меньше, чем у суточных волн. Этот период дан в знаменателе дроби шестого столбца.

Суточные и полусуточные приливные волны движутся по часовой стрелке – с востока на запад. Этому направлению движения соответствует знак минус в столбцах 4 и 5 приведенной выше таблицы. Вычисления собственных скоростей волн велись по формуле: $\dot{\mu}_i = \dot{\nu}_i - \dot{\theta}$, где $\dot{\mu}_i$ – собственная частота волны i ; $\dot{\nu}_i$ – ее видимая частота; $\dot{\theta}$ – звездное время, определяемое видимой суточной частотой движения неподвижных

звезд (точки весеннего равноденствия) на небесной сфере. При использовании аргументов Дудсона звездное время $\theta = t + h = \tau + s$, где t – среднее солнечное время; τ – среднее лунное время; s – средняя долгота Луны; h – средняя долгота Солнца. Здесь долготы светил отождествляются с их прямыми восхождениями. Угловая скорость $\dot{\theta} = \dot{t} + \dot{h} = \omega$, т.е. равна угловой скорости суточного вращения Земли. Среднее солнечное время t определяется видимой частотой движения среднего Солнца по экватору на небесной сфере $\dot{t} = \dot{\theta} - \dot{h} = -1$ цикл/сут. Если $|\dot{v}_i| < |\dot{t}|$, то $\dot{\mu}_i > 0$, т.е. на синоптической карте или координатно-временной диаграмме приливная волна будет двигаться с запада на восток, если же $|\dot{v}_i| > |\dot{t}|$, то $\dot{\mu}_i < 0$ и волна уже будет двигаться с востока на запад. Волн, удовлетворяющих условию $|\dot{v}_i| < |\dot{t}|$, больше, чем условию $|\dot{v}_i| > |\dot{t}|$. Поэтому на координатно-временной диаграмме преобладают волны, движущиеся с запада на восток (см. рис. 2).

После демодуляции симметричные пары волн с равными амплитудами (S_1 и ψ_1 ; χ_1 и ζ_1 ; M_1 и J_1 ; τ_1 и SO_1) вращаются в противоположных направлениях, так что их суммарная эллиптическая траектория вырождается в прямолинейное колебательное движение точки вдоль оси абсцисс. Амплитуда колебаний удваивается. Значения мнимых составляющих взаимно исключаются.

Все основные приливные волны O_1 , P_1 , Q_1 , амплитуды которых в десятки раз больше, чем у симметричных пар волн с равными амплитудами, а также волны $2Q_1$, σ_1 , ρ_1 и π_1 после демодуляции движутся не с востока на запад, а с запада на восток (в положительном направлении). Их и следует искать на синоптических картах и координатно-временных диаграммах подобных (см. рис. 2).

Итак, в земной невращающейся системе отсчета, часто используемой в геофизике, периоды всех суточных и полусуточных волн увеличиваются до значений периодов долгопериодных волн зональных приливов. Кроме того, в ней основные приливные волны движутся не с востока на запад, а с запада на восток. В атмосфере и океане преобладают волны, движущиеся с запада на восток. Совпадение направлений их движения с направлением собственных движений приливных волн создает условия для часто наблюдаемой в атмосфере и океане вынужденной синхронизации (захвата) частот атмосферных и океанических волн частотами лунно-солнечных приливных волн [Sidorenkov, 2009].

Литература

- Sidorenkov H.S. Физика нестабильностей вращения Земли. М.: Наука, 2002. 384 с.
- Brzezinski A., Bizouard Ch., Petrov S.D. Influence of atmosphere on Earth rotation: what new can be learned from recent atmospheric angular momentum estimates? // *Surveys in Geophysics*. 2002. N 23. P.33–69.
- Hamilton K., Garsia R.R. Theory and observations of the short-period normal mode oscillations of the atmosphere // *J. Geophys. Res.* 1986. V. 91. P.11867–11875.
- Salstein, D.A., Kann D.M., Miller A.J., Rosen R.D. The sub-bureau for atmospheric angular momentum of the International Earth Rotation Service, A Meteorological data center with geodetic applications // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 1993. V. 74. P.67–80.
- Sidorenkov N.S. The interaction between Earth's rotation and geophysical processes. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA, 2009. 305 p.
- Volland H. Atmospheric Tidal and Planetary Waves. Dordrecht: Kluwer Academic Publ., 1988. 348 p.

Сведения об авторе

СИДОРЕНКОВ Николай Сергеевич – доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией Гидрометцентра России. 123242, Москва, Большой Предтеченский пер., д. 11–13. Тел.: (499) 795-21-52. E-mail: sidorenkov@mecom.ru, sidorenkov37@mail.ru

ABOUT INACCURATE ESTIMATION OF THE ROLE OF TIDAL PHENOMENA IN GEOPHYSICS

N.S. Sidorenkov

The Hydrometcentre of Russia, Moscow, Russia

Abstract. For development of the astronomical theory of tides the solar reference system is used. In it visible angular velocity of tidal waves consists of its proper angular velocity and the transport velocity including angular velocities of spin rotation of the Earth and its circulation around the Sun. Transport velocity exceeds the proper velocity of tidal waves by the ten and hundred. Therefore, in the solar frame we deal only with quasi-diurnal tidal waves and their subharmonics.

Hydrometeorologists construct synoptic maps or time-coordinate sections with a fixed geographical grid of parallels and meridians. That is, by default they use a frame of reference tied not to the Sun but rather to the stationary Earth's surface. The Earth's diurnal rotation and orbital revolution are eliminated from this non-rotating terrestrial frame, while the proper motion of tidal waves is still present. Hydrometeorologists pay attention only to fast quasi-diurnal tidal waves predicted by the theory. The proper motion of tidal waves remains unnoticed. All slow waves moving over the Earth's surface including tidal waves are interpreted as regular atmospheric or oceanic waves.

Keywords: components of the atmospheric angular momentum; power spectrum; coordinate–time sections; normal modes of atmosphere; Solar and nonrotating terrestrial reference systems; proper and apparent velocities of the tidal waves.