

Исследование атмосферного прилива по данным регистрации барических вариаций на среднеширотной обсерватории «Михнево»

С. А. Рябова,* А. А. Спивак†

*Институт динамики геосфер Российской академии наук
Россия, 119334, Москва, Ленинский проспект, д. 38, корп. 1
(Статья поступила 14.05.2018; Подписана в печать 04.07.2018)*

На основе результатов инструментальных наблюдений за микропульсациями атмосферного давления выделены основные волны лунно-солнечного прилива в атмосфере Земли. Регистрация микропульсаций выполнялась в диапазоне от 0.1 мГц до 10 Гц на Геофизической обсерватории «Михнево» Института динамики геосфер Российской академии наук, расположенной в Московской области вне зоны влияния мегаполиса. Привлекались данные за период 2008–2016 гг. Оценка спектральных характеристик микропульсаций проводилась с использованием метода максимальной энтропии. С целью повышения уровня дискриминации близких по частотам приливных волн применялся метод адаптивной режекторной фильтрации. Показано, что спектральные амплитуды с частотами, совпадающими с частотами приливных волн, изменяются со временем с периодичностью около 29 суток. Получены характеристики модуляции солнечной эллиптической волны S_1 и главной солнечной волны S_2 периодами 13.66, 27.5 суток, а также ~ 0.3 , 0.5 и 1 год.

PACS: 92.60.lv, 91.60.-e

УДК: 551.541, 551.543, 551.11.

Ключевые слова: инструментальные наблюдения, атмосфера, атмосферное давление, лунно-солнечный прилив, приливные волны.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение приливных эффектов в атмосфере Земли представляет значительный интерес не только с точки зрения совершенствования и разработки новых моделей атмосферы, для чего наряду со скалярными требуется информация о ее векторных характеристиках, но также для обеспечения высокоточных систем спутникового позиционирования и решения задач, связанных с распространением радиоволн, поскольку состояние ионосферы в значительной степени зависит от системы ветров и, следовательно, градиентов атмосферного давления на термосферных высотах. Актуальность исследования атмосферного прилива обусловлена также рядом других причин. Привлекая информацию о приливных колебаниях в атмосфере, можно рассматривать задачи, связанные с возможностью обнаружения и мониторинга погодных, либо даже климатических изменений, вызываемых природными и техногенными воздействиями на атмосферу Земли. Не исключается также, что знание временных и пространственных вариаций приливных эффектов позволит приблизиться к установлению механизмов образования циклонов и антициклонов.

Известные сложности, связанные с исследованием атмосферного прилива, связаны, прежде всего, с тем, что в атмосфере, в отличие от прилива в твердых геосферах, допускаются значительные перемещения вещества. Этот факт, а также недостаточные знания о преобладающем механизме влияния гравитационного

взаимодействия в системе Земля–Луна–Солнце на атмосферу затрудняют построение теории атмосферного прилива. Действительно, прямое силовое воздействие на воздушные массы земной атмосферы со стороны Луны и Солнца недостаточно велико. Вероятнее всего, приливные эффекты в атмосфере могут быть связаны с синхронизацией гравитационного воздействия с имеющимися циркуляциями воздушных масс в атмосфере Земли. В качестве другого мощного фактора выступает термическое воздействие Солнца на атмосферу Земли (термический прилив).

Возможность установления основных механизмов атмосферного прилива связана с накоплением наблюдательных данных. К сожалению, таких данных все еще недостаточно. Это связано с трудностями выделения приливной составляющей из колебаний атмосферного давления, а также с тем, что достаточно слабые приливные эффекты камуфлируются мощными атмосферными процессами циклонической природы.

Известные работы в области изучения атмосферного прилива [1–4] имеют в основном теоретический характер. Исследования, выполненные по результатам инструментальных наблюдений [5–7], даже с использованием длинных рядов записей атмосферного давления позволяют выделить лишь небольшую часть приливных волн в атмосфере.

В настоящей работе рассматривается возможность выделения приливных волн в атмосфере Земли на основе анализа больших рядов данных, полученных в результате инструментальных наблюдений, выполненных на земной поверхности, и содержащих информацию не только о колебаниях атмосферного давления, но также о его микропульсациях.

*E-mail: ryabovasva@mail.ru

†E-mail: spivak@idg.chph.ras.ru

1. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДАННЫЕ

В качестве исходных данных в работе использовались ряды инструментальных наблюдений за атмосферным давлением, выполненных в условиях Геофизической обсерватории «Михнево» Института динамики геосфер Российской академии наук (ИДГ РАН) (54.9595° с.ш.; 37.7664° з.д.) в период с 2008 по 2016 гг. [8, 9]. Одновременно с атмосферным давлением P_0 регистрировались его вариации $P(t)$ в полосе частот $10\text{--}10^{-3}$ Гц. Регистрация метеопараметров, включая P_0 , выполнялась с помощью метеостанции Davis Vantage Pro2. Для измерения микропульсаций атмосферного давления использовался микробарометр МБ-03, оснащенный системой пространственных фильтров для подавления ветровых помех (рис. 1) [10, 11]. Для снижения влияния температурного дрейфа микробарометр установлен в скважину глубиной 2 м.



Рис. 1: Внешний вид микробарометра МБ-03 с системой ветроподавляющих фильтров на измерительной площадке Геофизической обсерватории «Михнево» ИДГ РАН

Результаты регистрации в виде цифровых рядов $P(t)$ накапливаются на жестких носителях и выкладываются на сайте ИДГ РАН (в графическом виде по адресу: <http://idg.chph.ras.ru/~mikhnevo/>, в цифровом виде по адресу: <http://idg.chph.ras.ru/~mikhnevo/data/>).

Подготовка данных заключалась в удалении выбросов (спайков) с использованием «диаграммы размахов» [12] и привлечением соответствующих критериев, предложенных в работах [13–16]. Пропуски во временных реализациях, включая возникшие в результате удаления выбросов, удалялись при их незначительном количестве с помощью линейной интерполяции, в случае длительных интервалов пропущенных значений для восстановления ряда применялось двойное преобразование Фурье [17]. Для анализа формировались цифровые ряды данных с дискретностью 1 мин.

Оценка спектра микропульсаций атмосферного давления $P(t)$ выполнялась на основе метода параметрической авторегрессии [18, 19]. С целью повышения

уровня дискриминации близких по периодам квазигармонических спектральных составляющих в дополнение к параметрическому спектральному анализу в настоящей работе применялся также метод выделения гармонических составляющих с помощью узкополосных адаптивных режекторных фильтров [20], преимущество которых заключается в простоте выбора искомой частоты, перестройки полосы пропускания и практически неограниченном подавлении соседних частот. Добротность таких фильтров определяется амплитудой колебаний (вариаций) C и параметром μ , характеризующим скорость сходимости алгоритма коэффициентов фильтра:

$$Q = \omega \Delta t / 2\mu C^2 \quad (1)$$

где ω — заданная частота, равная частотам приливного потенциала, Δt — шаг дискретизации. В настоящей работе при $\mu = 0.02$ и $C = 0.02$ добротность фильтра Q составляет $1 \cdot 10^4\text{--}2 \cdot 10^4$, что обеспечивает разрешение по частоте $8 \cdot 10^{-6}$ 1/ч, т.е. периодические гармоники выделяются с точностью 0.0046 ч. Такое разрешение позволяет выделять даже самые близкие волны: T_2 , S_2 и R_2 , периоды которых различаются на 0.016 ч.

Здесь следует отметить, что применение восстановления непрерывности цифровых рядов описанными выше методами почти не оказывало влияние на выделение спектральных гармоник, в частности, на разрешение по частоте. Тестирование показало, что расхождение между периодами спектральных гармоник, определенных по исходным рядам и по рядам, где предварительно были удалены значения и потом восстановлены, не превышало 0.002 ч.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА МИКРОПУЛЬСАЦИЙ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ

Предварительно следует отметить, что так же как в работах [5, 7] в настоящей работе анализ колебаний атмосферного давления позволил выделить в спектрах лишь небольшую часть приливных волн. Явно были выделены приливные волны S_2 (главная солнечная, период 12 ч), M_2 (главная лунная, период 12.42 ч), S_1 (эллиптическая солнечная, период 24 ч) и M_1 (эллиптическая лунная, период 24.84 ч). Менее четко выделены приливные волны ψ_1 , K_1 , P_1 и O_1 .

Использование предложенного подхода, основанного на анализе спектральных характеристик микропульсаций атмосферного давления, позволило выделить весь ряд приливных волн. На рис. 2,а,б приведены зависимости спектральной плотности микропульсаций атмосферного давления от частоты для околосуточных и полусуточных составляющих. На рис. 3,а,б приведены, соответственно, фрагменты спектров в окрестности частот, соответствующих приливным волнам. Из рисунков видно, что наряду с ярко выраженными квазигармоническими спектральными пиками, соответствующими известным приливным волнам, которые поме-

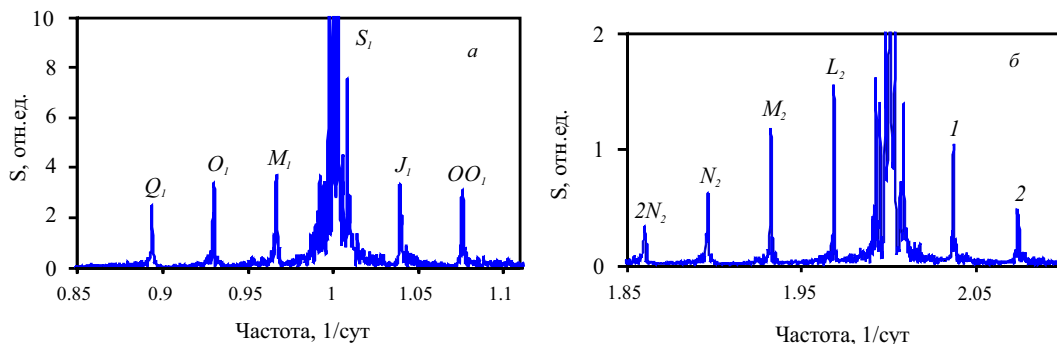


Рис. 2: Спектр микропульсаций атмосферного давления по измерениям на Геофизической обсерватории «Михнево» ИДГ РАН: а — околосуточная область, б — полусуточная область

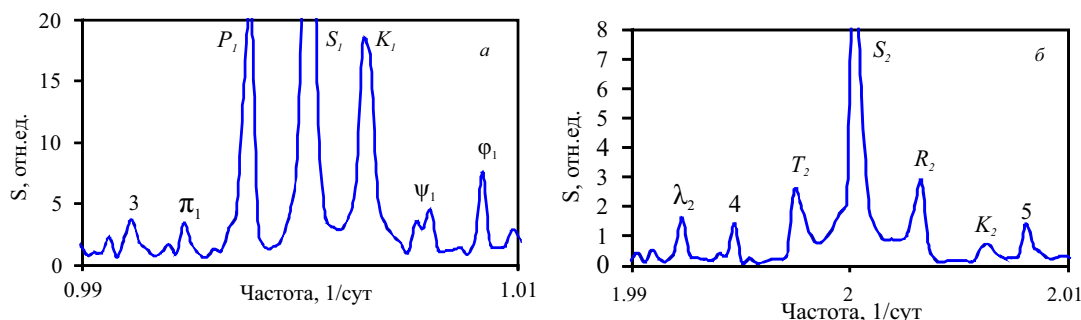


Рис. 3: Спектр микропульсаций атмосферного давления по измерениям на Геофизической обсерватории «Михнево» ИДГ РАН: а — фрагмент околосуточной области спектра, б — фрагмент полусуточной области спектра

чены в соответствии с принятыми обозначениями, выделяются дополнительные пики 1–5, причина возникновения которых будет обсуждена ниже.

Особо следует отметить, что помимо околосуточных и полусуточных волн в спектре микропульсаций атмосферного давления отчетливо выделяются и длиннопериодные приливные волны (рис. 4): лунная деклинационная M_f (период 13.66 сут) и лунная эллиптическая M_m (период 27.55 сут).

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что периоды выделенных в микропульсациях атмосферного давления квазигармонических составляющих T_S близки к периодам T_0 известных приливных волн (табл. 1). Одновременно с этим данные табл. 1, в которой приведены результаты обработки микропульсаций атмосферного давления за 2008 г., 2013 г. и 2015 г., за весь анализируемый период (с 2008 г. по 2016 г.) демонстрируют временную устойчивость выделенных пиков T_S (отличие между периодами квазигармонических составляющих, выделенных в 2008 г., 2013 г. и 2015 г., не превышает 0.1 %).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что анализ микропульсаций атмосферного давления с использованием данных, полученных при измерениях на земной поверхности, позволяет выделять широкий набор приливных волн в атмосфере Земли. При этом важно отметить, что приведенные на рис. 3 данные по-

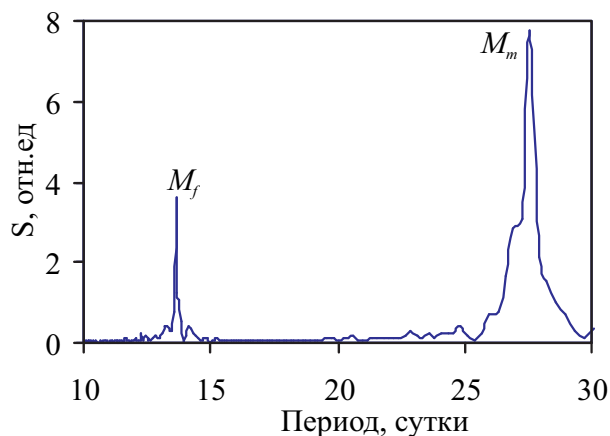


Рис. 4: Фрагмент спектра в области 13 и 27 сут микропульсаций атмосферного давления по измерениям на Геофизической обсерватории «Михнево» ИДГ РАН

казывают, что максимальными спектральными амплитудами в окрестности суточных и полусуточных вариаций характеризуются приливные волны солнечного происхождения S_1 и S_2 . Это в полной мере соответствует известным представлениям о преимуществен-

Таблица I: Основные характеристики приливных волн, где T_0 — период приливного сигнала, T_S — период, вычисленный по спектру

Волна	T_0	T_S				$(T_S - T_0)/T_0, \%$			
		2008 г.	2013 г.	2015 г.	За все года	2008 г.	2013 г.	2015 г.	За все года
Q_1	26.868	26.840	26.830	26.831	26.839	0.104	0.141	0.138	0.108
O_1	25.819	25.811	25.806	25.810	25.812	0.031	0.050	0.035	0.027
M_1	24.833	24.819	24.811	24.809	24.816	0.056	0.089	0.097	0.068
π_1	24.132	24.145	24.155	24.152	24.147	-0.054	-0.095	-0.083	-0.062
P_1	24.066	24.078	24.088	24.085	24.080	-0.050	-0.091	-0.079	-0.058
S_1	24.000	24.015	24.023	24.02	24.018	-0.063	-0.096	-0.083	-0.075
K_1	23.934	23.958	23.954	23.956	23.952	-0.100	-0.084	-0.092	-0.075
ψ_1	23.869	23.858	23.852	23.85	23.856	0.046	0.071	0.08	0.054
ϕ_1	23.804	23.821	23.824	23.831	23.822	-0.071	-0.084	-0.113	-0.076
J_1	23.098	23.110	23.117	23.119	23.113	-0.052	-0.082	-0.091	-0.065
OO_1	22.306	22.314	22.322	22.321	22.319	-0.036	-0.072	-0.067	-0.058
$2N_2$	12.904	12.901	12.899	12.899	12.900	0.023	0.039	0.039	0.031
N_2	12.658	12.655	12.652	12.653	12.654	0.024	0.047	0.040	0.032
M_2	12.420	12.417	12.415	12.413	12.415	0.024	0.040	0.056	0.040
λ_2	12.220	12.19	12.192	12.191	12.193	0.245	0.229	0.237	0.221
L_2	12.191	12.088	12.054	12.066	12.073	0.845	1.124	1.025	0.968
T_2	12.017	12.013	12.015	12.014	12.015	0.033	0.017	0.025	0.017
S_2	12.000	11.989	11.992	11.991	11.990	0.092	0.067	0.075	0.083
R_2	11.984	11.981	11.977	11.977	11.979	0.025	0.058	0.058	0.042
K_2	11.967	11.943	11.945	11.941	11.948	0.201	0.184	0.217	0.159

ном влиянии солнечного прогрева атмосферы с характерными периодами 12 час и 24 час [4].

Анализ полученных данных показывает, что амплитуды приливных волн значительно варьируют со временем. В качестве примера на рис. 5 приведены вариации относительных спектральных амплитуд основных приливных волн, рассчитанные по данным настоящей работы. Отчетливо видны периодичности в изменениях рассматриваемых величин. Например, амплитуда приливной волны K_2 изменяется со временем с периодом ~ 4.8 мес. Однако, больший интерес вызывает поведение амплитуды солнечной эллиптической волны S_1 , амплитуда которой то периодически достигает максимальных значений, то настолько мала, что это не позволяет ее выделить используемыми в настоящей работе методами.

3. МОДУЛЯЦИЯ ПРИЛИВНЫХ ВОЛН

Нелинейность происходящих в атмосфере процессов приводит к модуляции основных колебаний атмосферного давления, связанных, в частности, с приливыми волнами. Известно [21], что в случае, когда на колебания с частотой ω накладывается колебание с меньшей частотой Ω , результирующее амплитудно-модулированное колебание P записывается в виде сле-

дующей модели:

$$P = V \cos(\omega t + \psi) + 0.5Vm \cos[(\omega t + \Omega) + \Phi] + 0.5Vm \cos[(\omega t - \Omega) + \Phi], \quad (2)$$

где V , ω и ψ — соответственно, амплитуда, круговая частота и начальная фаза несущего колебания; m — глубина модуляции; Ω и Φ — соответственно, частота и фаза модуляции амплитуды несущего колебания; t — время.

Выражение (1) отражает характер амплитудно-модулированного колебания, включающего несущее колебание (первое слагаемое) и гармонические составляющие с частотами $\omega + \Omega$ (верхняя боковая частота) и $\omega - \Omega$ (нижняя боковая частота). При этом амплитуды боковых составляющих определяются величиной $0.5Vm$. С учетом (1) проанализируем графики, представленные на рис. 2, 3. На указанных рисунках отчетливо видно, что центральным спектральным пиком, связанным с волнами S_1 и S_2 , сопутствует ряд равноотстоящих от них пиков. Так пара симметрично расположенных относительно S_1 спектральных пиков, соответствующих приливным волнам P_1 и K_1 (рис. 3,а) отстоит от пика S_1 на ~ 0.0027 1/сут с точностью не хуже 2,5%. В соответствии с (1) суперпозиция центрального S_1 и двух боковых пиков P_1 и K_1 характеризует модуляцию амплитуды суточных колебаний S_1 периодом ~ 1 год. Одновременно с этим в околоточных

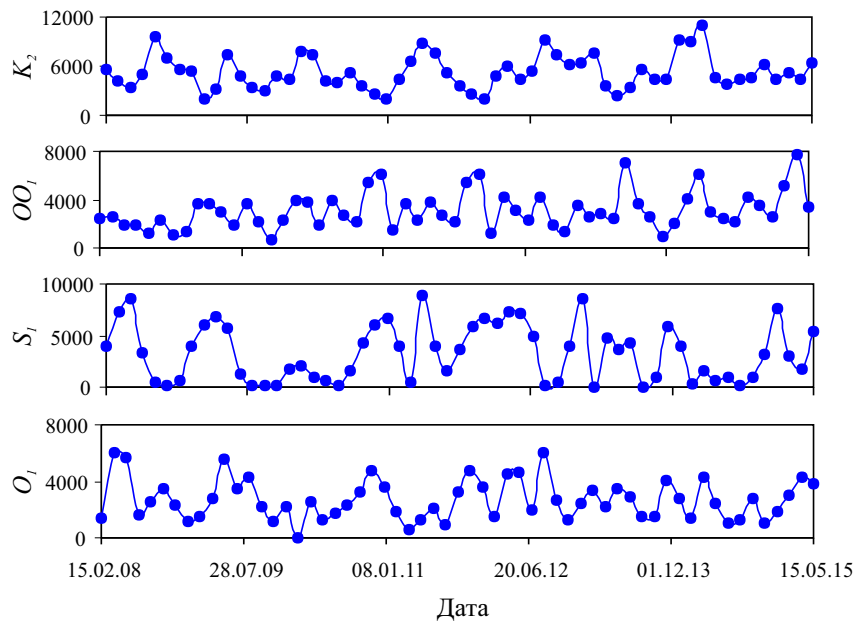


Рис. 5: Вариация спектральных амплитуд (размерность Па/(1/час)^{1/2}) основных приливных волн микропульсаций атмосферного давления по измерениям на Геофизической обсерватории «Михнево» ИДГ РАН

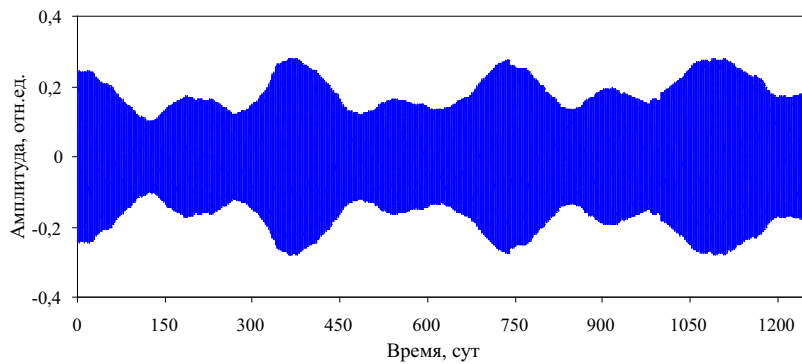


Рис. 6: Пример амплитудно-модулированного колебания, образованного волнами S_1 , P_1 , K_1 , π_1 и ψ_1

фрагментах спектра существуют спектральные пики с частотами ~ 0.994 1/сут и ~ 1.0054 1/сут (рис. 3,а). Это приливные волны ψ_1 и π_1 , которые в соответствии с (1) возникают в результате модуляции суточных колебаний атмосферного давления полугодовым периодом (182 сут). Таким образом, приливные волны P_1 и K_1 могут с приемлемой для практики точностью рассматриваться в качестве боковых частот амплитудно-модулированного колебания с несущей частотой 1/сут с периодом модуляции ~ 1 год, а волны ψ_1 и π_1 боковых частот амплитудно-модулированного колебания с периодом модуляции 0.5 года.

В результате модуляции суточных колебаний атмосферного давления третьгодовым периодом имеются также спектральные пики с частотами ~ 0.9922 1/сут (пик 3 на рис. 3,а) и ~ 1.0082 1/сут. (пик ϕ_1 на рис. 4), которые равноотстоят от волны S_1 на 0.0082 1/сут с точностью не хуже 2%, и это соответствует периоду

модуляции ~ 122 сут.

Анализ спектров, приведенных на рис. 2,а, показывает, что тройка спектральных пиков, отождествляемых с приливными волнами J_1 , S_1 и M_1 , демонстрирует модуляцию волны S_1 периодом 27.5 сут. Другая тройка спектральных пиков, отождествляемых с приливными волнами O_1 , S_1 и OO_1 , демонстрирует модуляцию волны S_1 периодом 13.66 сут.

Аналогичным образом можно установить амплитудную модуляцию приливной волны S_2 . Действительно, рассматривая спектры, приведенные на рис. 2,б и 3,б, получаем: тройка спектральных пиков, отождествляемых с приливными волнами L_2 , S_2 и выделенным пиком 1, демонстрирует модуляцию волны S_2 периодом 27.5 сут. Другая тройка спектральных пиков, отождествляемых с приливными волнами M_2 , S_2 и выделенным пиком 2, демонстрирует модуляцию волны S_2 периодом 13.66 сут. Суперпозиция спектральных пи-

ков, отождествляемых с приливными волнами T_2 , S_2 и R_2 , демонстрирует модуляцию волны S_2 периодом ~ 1 год. Тройка спектральных пиков, отождествляемых с приливными волнами K_2 , S_2 и спектральным пиком 4, демонстрирует модуляцию волны S_2 периодом ~ 180 сут. Тройка спектральных пиков, отождествляемых с приливными волнами λ_2 , S_2 и спектральным пиком 5, демонстрирует модуляцию волны S_2 периодом ~ 120 сут.

Таким образом, можно констатировать, что основные приливные волны солнечного происхождения S_1 и S_2 модулируются годовым, полугодовым, третьгодовым периодом, а также периодами 13.66 и 27.55 сут. Выделенные на спектрах микропульсаций атмосферного давления спектральные пики 1–5 являются следствием указанных амплитудных модуляций.

Пример амплитудно-модулированного колебания, образованного волнами S_1 , P_1 , K_1 , π_1 и ψ_1 , приведен на рис. 6. Из соотношения амплитуд указанных волн следует, что глубина модуляции S_1 годовым периодом равна $m \sim 0.9$, а полугодовым периодом — $m \sim 0.2$. Для волн S_2 , K_2 , R_2 , T_2 и 4 соответствующие величины модуляции оцениваются значениями ~ 0.5 и ~ 0.15 .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный подход, основанный на анализе спектров микропульсаций атмосферного давления, позво-

ляет выделять практически все известные приливные волны. При этом важно, что для выделения приливных волн допустимо пользоваться результатами регистрации на земной поверхности, что значительно упрощает инструментальные наблюдения при изучении атмосферных процессов. Оценка спектральных характеристик микропульсаций атмосферного давления за длительный период наблюдений показывает, что суточные и полусуточные спектральные пики вариаций атмосферного давления сопровождаются боковыми равноудаленными спектральными линиями, что является прямым указанием на модуляцию указанных спектральных составляющих. Периоды модуляции соответствующих приливных волн составляют около 13.66; 27.5 сут, а также 1, 0.5 и треть года. Результаты настоящей работы могут быть востребованы при построении общей модели атмосферы Земли и установлении основных закономерностей атмосферных движений.

Благодарности

Авторы выражают благодарность канд. техн. наук Ю. С. Рыбнову и канд. техн. наук В. А. Харламову за помощь в проведении инструментальных наблюдений и обработке данных. Работа выполнена при финансовой поддержке программы фундаментальных исследований президиума РАН № 19.

-
- [1] Ржонсницкий В. Б. Приливные движения. Л., 1979.
 - [2] Сидоренков Н. С. Физика нестабильностей вращения Земли. М., 2002.
 - [3] Сидоренков Н. С. Геофизические процессы и биосфера. 2015. **14**. №. 3. С. 5.
 - [4] Чепмен С., Линдзен Р. Атмосферные приливы. М., 1972.
 - [5] Сидоренков Н. С., Исаев А. А., Орлов И. А., Шерстюков Б. Г. Труды Гидрометеоцентра России, Вып. 342. 2008. С. 177.
 - [6] Covey C., Dai A., Lindzen S., March D. R. Journal of the Atmospheric Sciences. 2014. **71**. P. 1905.
 - [7] Zurbenko I. G., Potrzeva A. L. Acta geophysica. 2009. **58**, N 2. P. 356.
 - [8] Адушкин В. В., Овчинников В. М., Санина И. А., Ризниченко О. Ю. Физика Земли. 2016. №. 1. С. 108.
 - [9] Адушкин В. В., Рябова С. А., Спивак А. А. Физика Земли. 2017. №. 4. С. 76.
 - [10] Рыбнов Ю. С., Харламов В. А., Евменов В. Ф. Сб. научных трудов ИДГ РАН. М.: ГЕОС, 2005. С. 29.
 - [11] Спивак А. А., Локтев Д. Н., Рябова С. А., Харламов В. А. Триггерные эффекты в геосистемах. Вып. III. М.: ГЕОС, 2015. С. 310.
 - [12] Hoaglin D. C., Mosteller F., Tukey J. W. Understanding robust and exploratory data analysis. 2nd edition. New-York, 2000.
 - [13] Дубров А. М., Мхитрян В. С., Трошин Л. И. Многомерные статистические методы: учебник для студентов экономических специальностей высших учебных заведений. М., 2003.
 - [14] Grubbs F. E. Technometrics. 1969. **11**. N 1. P. 1.
 - [15] Tietjen G. L., Moore R. H. Technometrics. 1972. **14**. P. 583.
 - [16] Tietjen G. L., Moore R. H., Backman R. J. Technometrics. 1973. **15**. P. 717.
 - [17] Грачев А. В. Вестник ННГУ им. Н.И. Лобачевского. Серия Радиофизика. Нижний Новгород: ННГУ, 2004. Вып. 2. С. 15.
 - [18] Канасевич Э. Р. Анализ временных последовательностей в геофизике. М., 1985.
 - [19] Марпл С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. М., 1990.
 - [20] Уидроу Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов. М., 1989.
 - [21] Зернов Н. В., Карпов В. Г. Теория радиотехнических цепей. Л., 1972.

Investigation of the atmospheric tide from the data of recording barometric variations at the mid-latitude observatory «Mikhnevo»

S. A. Riabova^{1a}, A. A. Spivak^{1b}

¹*Institute of Geospheres Dynamics of Russian Academy of Science, Moscow 119334, Russia*
E-mail: ^aryabovasva@mail.ru, ^bspivak@idg.chph.ras.ru

Based on the results of instrumental observations of microimpulsions of atmospheric pressure, the main waves of the lunar-solar tide in the Earth's atmosphere are identified. The registration of micropulsations is obtained in the range from 0.1 MHz to 10 Hz in the Geophysical observatory «Mikhnevo» of Institute of Geosphere Dynamics of Russian Academy of Sciences located in the Moscow region, situated outside of the zone of the megapolis influence. The data for period 2008–2016 were involved. An estimate of the spectral characteristics of microimpulsions was carried out using the maximum entropy method. In order to increase the level of discrimination related to the frequencies of tidal waves, the adaptive rejection filtering method was applied. It is shown that the spectral amplitudes with frequencies that coincide with the frequencies of the tidal waves change with time with a periodicity of about 29 days. The characteristics of modulation of the solar elliptic wave S_1 and the main solar wave S_2 by periods of 13.66, 27.55 days are obtained; as well as ~ 0.3 , 0.5 and 1 year.

PACS: 92.60.hv, 91.60.-e

Keywords: instrumental observations, atmosphere, atmospheric pressure, lunar-solar tide, tidal waves.

Received 14 May 2018.

Сведения об авторах

1. Рябова Светлана Александровна — мл. науч. сотрудник; e-mail: ryabovasva@mail.ru.
2. Спивак Александр Александрович — докт. физ.-мат. наук, гл. науч. сотрудник, профессор; тел.: (495) 939-75-91, e-mail: spivak@idg.chph.ras.ru.