ДОКЛАДЫ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. НАУКИ О ЗЕМЛЕ, 2020, том 490, № 1, с. 22–26

ГЕОФИЗИКА

УДК 550.34.094

АТМОСФЕРНО-ЛИТОСФЕРНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В МИНУТНОМ ДИАПАЗОНЕ ПЕРИОДОВ

© 2020 г. Академик РАН Г. И. Долгих[1,*], С. Г. Долгих [1], Л. Н. Василевская[2], И. А. Лисина[2]

Поступило 28.08.2019 г.
После доработки 24.09.2019 г.
Принято к публикации 28.09.2019 г.

Рассмотрены особенности атмосферно-литосферного взаимодействия в минутном диапазоне периодов. Описана методика оценки воздействия атмосферных процессов на литосферные, разработанная при обработке синхронных экспериментальных данных, полученных с помощью лазерных деформографов и лазерного нанобарографа. Учет воздействия атмосферных процессов на литосферные позволяет более четко выделять гидросферно-литосферные колебания и волны данного диапазона периодов.

Ключевые слова: атмосфера, литосфера, давление, деформация, лазерный деформограф, лазерный нанобарограф, база данных

DOI: 10.31857/S2686739720010028

Учет воздействия атмосферных процессов на литосферные и гидросферные крайне важен, так как позволяет не только определять их первоисточник, но и выделять тонкие “замаскированные” атмосферой литосферные и гидросферные эффекты. Среди различных атмосферных параметров особняком стоит давление, вариации которого оказывают непосредственное воздействие на вариации деформации земной коры и вариации гидросферного давления. Учет вариаций атмосферного давления позволяет определять первоисточник колебаний и волн в системе “атмосфера–гидросфера–литосфера”. Так, например, в работе [1] в результате обработки синхронных экспериментальных данных по вариациям атмосферного и гидросферного давлений установлен первоисточник гидросферных колебаний, связанный с атмосферой, хотя первоначально данный первоисточник был приписан гидросфере и связывался с короткопериодными внутренними морскими волнами. Кроме того, вариации атмосферного давления могут оказывать определенное воздействие на показания применяемой аппаратуры, что также крайне важно учитывать [2]. В работе [3] показано, как учет влияния вариаций атмосферного давления на вариации деформации земной коры позволяет выделять тонкие литосферные процессы, “замаскированные” атмосферой. В результате предварительной обработки экспериментальных данных после вычета предполагаемого воздействия атмосферы на уровень деформаций земной коры были выделены отдельные тона и обертона собственных колебаний Земли, которые не были обнаружены в первоначальных данных. Есть надежда, что учет данного воздействия позволит более точно определять динамику деформационных коровых процессов, связанных с процессами подготовки землетрясений, что крайне важно в свете определения времен накопления относительных деформаций на поверхности Земли [4] и исследования вопроса возможности прогноза ко́ровых землетрясений по вариациям напряженно-деформационного поля [5], а также более четкого определения скачков деформаций, связанных с подвижками морского дна, приводящих к образованию цунами [6, 7].

В работе анализируются синхронные экспериментальные данные по вариациям атмосферного давления и деформации верхнего слоя земной коры, полученные с помощью лазерного нанобарографа [8] и двухкоординатного лазерного деформографа [9], установленных на полигоне ТОИ ДВО РАН на м. Шульца.

В статье [3] вводится простая формула, связывающая вариации деформации верхнего слоя земной коры с вариациями атмосферного давления в следующем виде:

$$\varepsilon_a = -P(r,Q)/(2(\lambda+\mu)),$$

[1]*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской Академии наук, Владивосток, Россия*
[2]*Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия*
**E-mail: dolgikh@poi.dvo.ru*

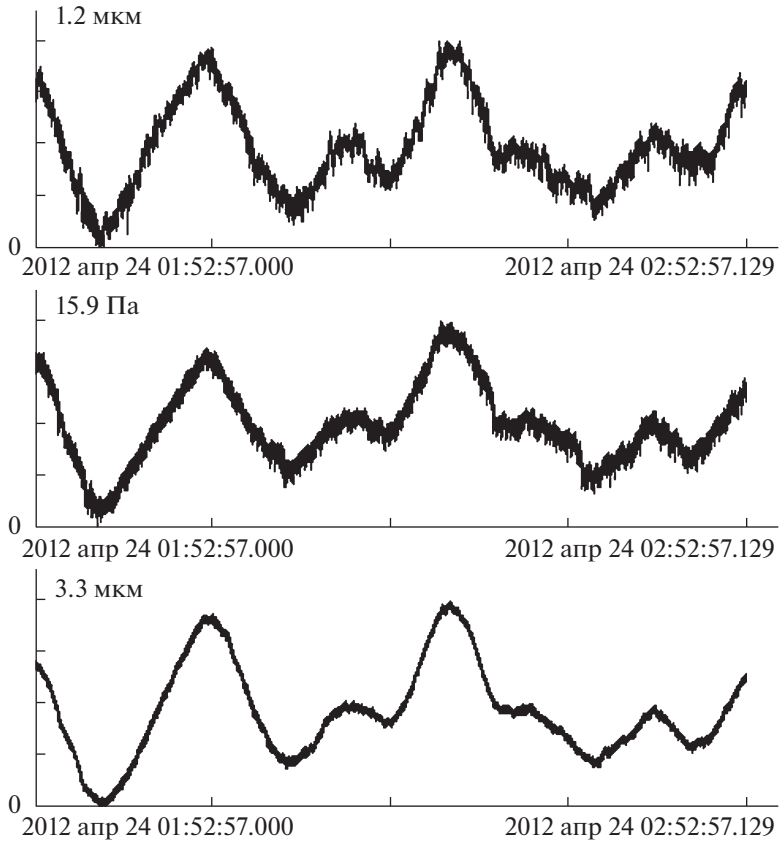

Рис. 1. Синхронные участки записей 17.5-метрового лазерного деформографа, лазерного нанобарографа, 52.5-метрового лазерного деформографа (сверху вниз).

где ε_a – региональная деформация на упругом полупространстве, $P(r,Q)$ – атмосферное давление на поверхности (в гектопаскалях), λ и μ – коэффициенты Ламе данного упругого полупространства, r, Q – координаты в цилиндрической системе координат. Использование данного выражения в нашем случае затруднено, так как лазерные деформографы расположены на неоднородной среде, особенно лазерный деформограф с длиной измерительного плеча 52.5 м. Кроме того, вариации атмосферного давления могут оказывать влияние на точность измеряемых параметров, хотя, как показано в работе [10], это влияние несущественно для текущих измерений. Тем не менее это воздействие возможно также учесть. С целью учета воздействия вариаций атмосферного давления на измеряемую деформацию была разработана следующая, достаточно простая, но обоснованная методика. В записях лазерных деформографов и лазерного нанобарографа были выбраны часовые синхронные файлы в базе данных, в которых график изменения атмосферного давления совпадал с графиками изменений смещений, регистрируемых лазерными деформографами. При этом мы обоснованно считаем, что функция изменения атмосферного давления не носит поляризационных свойств и почти одинаково воздействует на деформацию земной коры, регистрируемую лазерными деформографами с длинами измерительных плеч 52.5 и 17.5 м. Всего было проанализировано 59 синхронных часовых участков записей лазерного нанобарографа и лазерных деформографов. На рис. 1 приведен пример одного такого участка. При этом мы считали, что рассмотренные участки записей данных приборов обусловлены только действием атмосферного давления. В каждом конкретном случае были определены передаточные коэффициенты, связывающие показания лазерного нанобарографа с синхронными показаниями лазерных деформографов. В дальнейшем были определены средние передаточные коэффициенты, полученные при усреднении по всем 59 участкам записей. Так, для 17.5-метрового лазерного деформографа получен передаточный коэффициент, равный 0.080 мкм/Па, а для 52.5-метрового – 0.203 мкм/Па. В пересчете на деформацию имеем: для 17.5-метрового лазерного деформографа передаточный коэффициент равен 4.6×10^{-9} Па$^{-1}$, а для 52.5-метрового $3.9 \times \times 10^{-9}$ Па$^{-1}$. Как видно из последнего, эти коэффициенты отличаются для рассматриваемых лазерных деформографов, что вполне объяснимо,

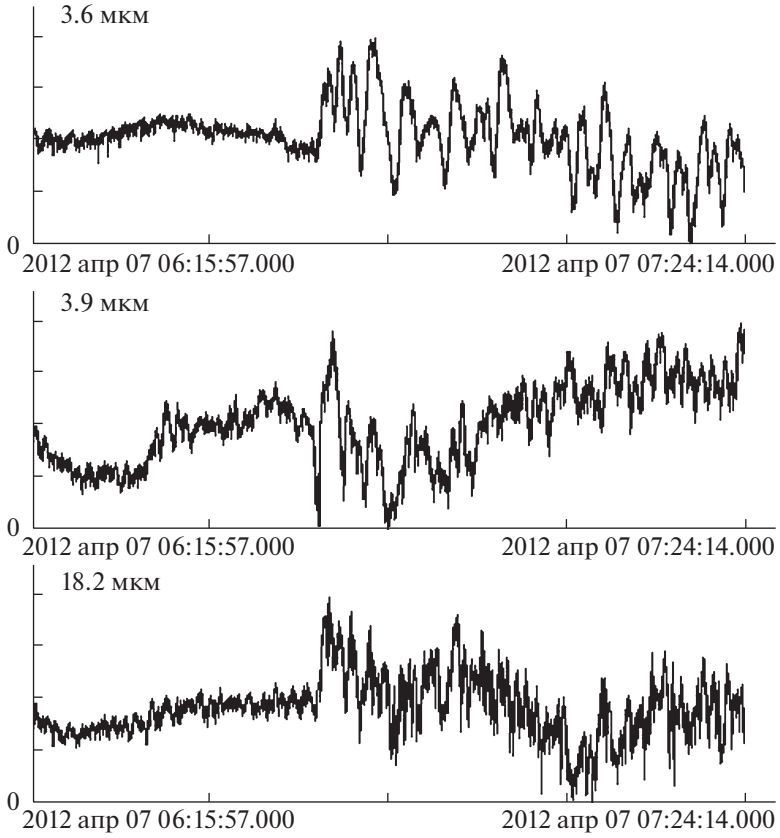

Рис. 2. Синхронные участки записей 17.5-метрового лазерного деформографа, 52.5-метрового лазерного деформографа, лазерного нанобарографа (сверху вниз).

так как устои 17.5-метрового лазерного деформографа стоят на суглинистых породах, а один устой 52.5-метрового также стоит на суглинке, а другой — на скальной породе. Ясно, что величины данных коэффициентов зависят от сезонов года (сухих, влажных и т.п.), насыщенности водой пород, на которых стоят лазерные деформографы и т.п. В работе анализируются экспериментальные данные, полученные с 5 по 25 апреля 2012 года. С учетом полученных коэффициентов мы можем из данных каждого лазерного деформографа вычитать деформацию, вызванную воздействием атмосферного давления, изменения которого фиксируются лазерным нанобарографом, тем самым считая, что воздействие атмосферного давления на деформацию земной коры мы вычли. Данный метод должен дать лучший результат по сравнению с методом, описанным в [3].

При обработке синхронных экспериментальных данных с применением современных методов спектрального оценивания было установлено, что в спектрах отдельных синхронных записей лазерных деформографов и лазерного нанобарорафа были выделены значительные максимумы на периодах около 2 мин 21 с, 4 мин 33 с, 7 мин 35 с, 8 мин 32 с, 11 мин 23 с, 13 мин 39 с, 22 мин 45 с, 34 мин 8 с. Понятно, что они вызваны различными процессами, происходящими в атмосфере, гидросфере или литосфере. На первый взгляд, можно предположить, что первоисточник их находится в атмосфере. Но некоторые работы различных авторов указывают на то, что колебания и волны, распространяющиеся в литосфере, а может быть и в гидросфере, вызывают колебания соответствующих периодов в атмосфере. Так, в работе [11] показано, что основной сфероидальный тон ${}_0S_2$, возникший в литосфере после мощного землетрясения, вызвал в атмосфере вариации атмосферного давления соответствующего периода. Такого же рода результат получен при обработке рассматриваемых синхронных экспериментальных данных. В этот период наблюдения лазерными деформографами было зарегистрировано землетрясение. Упругие волны, распространяющиеся в земной коре, вызванные землетрясением, возбудили в атмосфере колебания соответствующих периодов, что и было зарегистрировано лазерным нанобарографом. На рис. 2 приведены синхронные записи лазерных деформографов и лазерного нанобарографа.

Тем не менее учет вклада вариаций атмосферного давления в записи лазерных деформографов

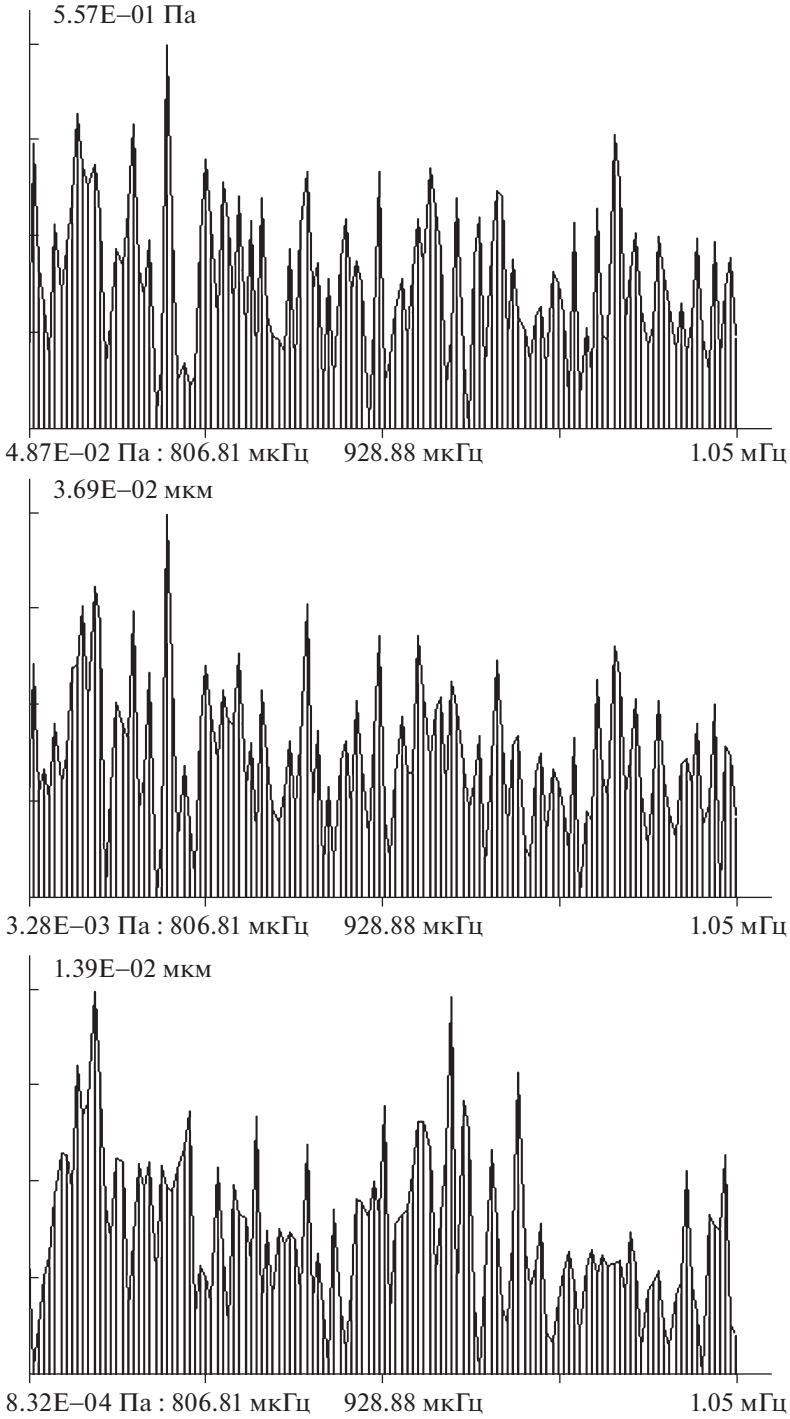

Рис. 3. Спектры участка записи лазерного нанобарографа, участка записи лазерного деформографа “запад–восток”, скорректированного участка записи лазерного деформографа “запад–восток” (сверху вниз).

очень важен и дает эффективные результаты. Так, при обработке синхронных данных лазерного деформографа и лазерного нанобарографа за июль 2015 года по вышеописанной методике были определены передаточные коэффициенты, отражающие вклад вариаций атмосферного давления в уровень деформаций земной коры. Для демонстрации работоспособности данной методики были обработаны экспериментальные данные с 27 июля по 1 августа 2015 года. Для наглядного представления ценности вышеприведенных поправок представим спектры, полученные при обработке участка записи лазерного нанобарографа, синхронного с ним участка записи лазерного

деформографа “запад–восток”, синхронного с ним скорректированного участка записи лазерного деформографа “запад–восток” в области основного сфероидального тона Земли ${}_0S_0$.

На рис. 3 представлены вышеуказанные спектры. При сравнении данных спектров можно сказать, что спектр не откорректированной записи лазерного деформографа “запад–восток” имеет максимумы существенной амплитуды, вызванные вариациями атмосферного давления, присутствующие в спектре записи лазерного нанобарографа. В спектре откорректированной записи лазерного деформографа “запад–восток” таких максимумов нет. Более того, при обработке данной записи выделены мощные пики, обусловленные собственными колебаниями Земли. Так первый значительный пик соответствует основному сфероидальному тону ${}_0S_0$ (экспериментально определенный период 20 мин 5.3 с), а второй по значимости пик – сфероидальному обертону ${}_1S_3$ (экспериментально определенный период 17 мин 30.7 с). Основной сфероидальный тон ${}_0S_5$ (период 19 мин 50.1 с) не проявился из-за плохого частотного разрешения, в результате которого боковые лепестки максимума на периоде 20 мин 5.3 с “поглотили” спектральный пик основного сфероидального тона ${}_0S_5$.

Как и в работе [3], так и в данной работе явно демонстрируется важность учета влияния вариаций атмосферного давления на уровень деформаций земной коры зоны расположения приборов. Только из сравнения двух последних спектров рис. 3 можно прийти к такому заключению: только после вычета деформации земной коры, вызванной вариациями атмосферного давления, уверенно выделены сфероидальные колебания Земли в рассматриваемом диапазоне периодов, которые были “замаскированы” более мощными атмосферными процессами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Долгих Г.И., Будрин С.С., Долгих С.Г. и др.* // ДАН. 2015. Т. 462. № 5. С. 601–604.
2. *Долгих Г.И., Корень И.А., Овчаренко В.В.* // Физика Земли. 2001. № 11. С. 92–96.
3. *Zurn W., Ferreira A.M.G., Widmer-Schnidrig R., et al.* // Geophys. J. Int. 2015. V. 203. P. 1787–1803.
4. *Долгих Г.И., Мишаков А.В.* // ДАН. 2012. Т. 447. № 5. С. 565–567.
5. *Долгих Г.И., Мишаков А.В.* // ДАН. 2011. Т. 437. № 5. С. 691–694.
6. *Долгих Г.И., Долгих С.Г., Ковалёв С.Н. и др.* // ДАН. 2007. Т. 412. № 1. С. 104–106.
7. *Долгих Г.И., Долгих С.Г., Ковалёв С.Н. и др.* // ДАН. 2007. Т. 417. № 1. С. 109–112.
8. *Долгих Г.И., Долгих С.Г., Ковалёв С.Н. и др.* // Физика Земли. 2004. № 8. С. 82–90.
9. *Долгих Г.И., Ковалёв С.Н., Корень И.А., Овчаренко В.В.* // Физика Земли. 1998. № 11. С. 76–81.
10. *Долгих Г.И., Привалов В.Е.* Лазеры. Лазерные системы. Владивосток: Дальнаука, 2009. 202 с.
11. *Shved G.M., Petrova L.N., Polyakova O.S.* // Annales Geophysicae. 2000. V. 18. P. 566–572.

ATMOSPHERIC-LITHOSPHERIC INTERACTION IN THE MINUTE RANGE OF THE PERIODS

Academician of the RAS G. I. Dolgikh[a,#], S. G. Dolgikh[a], L. N. Vasilevskaya[b], and I. A. Lisina[b]

[a] *V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation*

[b] *Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation*

[#] *E-mail: dolgikh@poi.dvo.ru*

Features atmospheric-lithospheric interactions in a minute range of the periods are considered. The technique of an estimation of influence of atmospheric processes on lithospheric, developed is described at processing of the synchronous experimental data received by means of laser strainmeters and laser nanobarograph. The account of influence of atmospheric processes on lithospheric allows to allocate more accurately hydrospheric-lithospheric fluctuations and waves of the given range of the periods.

Keywords: atmosphere, lithosphere, pressure, deformation, laser strainmeter, laser nanobarograph, a database