

УДК 550.344.42

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ МЕТЕОУСЛОВИЙ НА ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

© 2022 г. Академик РАН Г. И. Долгих^{1,*}, С. В. Яковенко¹, И. Е. Степочкин²

Поступило 07.07.2022 г.
После доработки 22.07.2022 г.
Принято к публикации 24.07.2022 г.

По синхронным данным лазерных деформографов, почвенных датчиков температуры и увлажненности исследовано влияние температуры и влагосодержания приповерхностного слоя почвы на вариации баро-деформационного взаимодействия пограничного слоя земной коры и атмосферы.

Ключевые слова: деформация, атмосферное давление, температура, влагосодержание почвы

DOI: 10.31857/S2686739722601338

Хорошо известно, что при изучении процессов и явлений широкого диапазона частот в любой геосфере необходимо учесть вклад в данные процессы и явления других геосфер. Правильный учет этого вклада позволяет не только определить первоисточник различных процессов и явлений, но и выделить из записей конкретных приборов “замаскированные” сигналы естественного и искусственного происхождения. Так, например, проведенные преобразования в работе [1] по учету вклада вариаций атмосферного давления в уровень деформаций земной коры позволили выделить некоторые тона и обертона собственных колебаний Земли, которые до этой процедуры не выделялись при спектральной обработке первичного ряда. Учет межгеосферного взаимодействия особенно важен в зоне перехода системы “атмосфера–гидросфера–атмосфера”. Без этой процедуры можно ошибочно конкретные процессы и явления приписать другой геосфере, что приводит к огромным ошибкам при построении различных физических моделей с ложной их интерпретацией.

В работе [2] показано, что изменения скорости сдвиговых волн отрицательно коррелируют с количеством осадков и показателем влажности почвы. В этой работе утверждается, что изменения данных скоростей в верхних 2 м почвы могут достигать 40%. Данные скорости зависят от величин

коэффициентов Ламе и плотности среды распространения. Эти изменения, конечно, влияют на показания лазерных деформографов [3–5], установленных на м. Шульца (Приморский край). В работе [6] показано, что отношение показаний лазерного нанобарографа [7] (вариации атмосферного давления) к показаниям двух лазерных деформографов (деформации земной коры на базе лазерных деформографов) с течением времени изменяются для 17.5-метрового лазерного деформографа до 24%, а для лазерного деформографа с длиной измерительного плеча 52.5 м – до 18%. Учитывая выше сказанное исследуем влияние температуры и влагосодержания приповерхностного слоя почвы на вариации баро-деформационного взаимодействия пограничного слоя земной коры и атмосферы.

Данные по температуре и влагосодержанию регистрировались специализированной метеостанцией датчиками 107-33-РТ (температура) и CS655 (влагонасыщенность), а данные по вариациям деформаций верхнего слоя земной коры брались по 17.5-метровому лазерному деформографу ориентацией “запад–восток”, и двум 52.5-метровым лазерным деформографам, ориентированным примерно по линии “север–юг”. Второй 52.5-метровый лазерный деформограф установлен в продолжении оси первого 52.5-метрового лазерного деформографа.

Подвергались обработке синхронные данные указанных приборов в периоды сильных осадков, увлажнения во время весеннего оттаивания, наибольшей сухости и экстремумов температуры почвы.

Для выбранных участков записи вычислили баро-деформационный коэффициент, определяющийся как отношение приращений длины

¹ Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия

² Far Eastern Climate Smart Lab, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

*E-mail: dolgikh@poi.dvo.ru

Таблица 1. Баро-деформационные коэффициенты

№	Баро-деформационный коэффициент			Темп. почвы, °С	Увлажненность, м ³ /м ³	Дата участка записи, комментарий
	К _{сю2/НБ}	К _{зв/НБ}	К _{сю/НБ}			
1	2	3	4	5	6	7
1	0.058	0.023	0.026	19.079	0.314	6 июля 2020. До сильного дождя
2*	0.066	0.046	0.028	17.674	0.328	8 июля 2020. После сильного дождя
3	0.047	0.058	0.019	18.926	0.274	19 июля 2020. До дождя
4*	0.253	0.053	0.015	21.263	0.297	21 июля 2020. После дождя
5	0.057	0.049	0.022	19.899	0.275	23 августа 2020. Стабильные характеристики температуры и влажности почвы на протяжении 2 сут
6	0.062	0.033	0.017	19.154	0.287	2 сентября 2020. Самое сильное увлажнение почвы этим летом (сильный дождь). Расчет до увлажнения почвы
7*	0.097	0.071	0.028	19.430	0.313	4 сентября 2020. Расчет после увлажнения почвы
8	0.016	0.041	0.023	6.78	0.16	15 ноября 2020. Участок характеризуется некоторой стабилизацией температуры почвы в период осеннего похолодания
9	0.082	0.076	0.022	-2.504	0.05	5 февраля 2021. Наиболее "сухое" время в году, стабильная температура
10*	0.078	0.052	0.017	-0.005	0.181	14 февраля 2021. Оттепель
11	0.052	0.036	0.025	-0.041	0.121	21 марта 2021. Вследствие весенних плюсовых температур в этот период происходит активное таяние замерзшей влаги и увлажнение ею почвы. Расчет до начала увлажнения почвы
12*	0.090	0.041	0.025	0.565	0.328	02 апреля 2021. Расчет после увлажнения почвы.
13	0.111	0.056	0.031	6.774	0.233	02 мая 2021. Участок записи до сильного дождя при стабильной температуре почвы
14*	0.105	0.051	0.025	7.710	0.298	05 мая 2021. Расчет после увлажнения почвы
15	0.032	0.042	0.017	11.253	0.158	02 июня 2021 до дождя
16*	0.031	0.043	0.053	11.195	0.260	04 июня 2021 после дождя
17	0.019	0.042	0.018	16.729	0.161	09 июля 2021 до дождя
18*	0.015	0.067	0.021	17.728	0.236	11 июля 2021 после дождя
19	0.023	0.112	0.052	19.897	0.056	19 августа 2021. Соответствует самому низкому уровню содержания влаги в почве за это лето

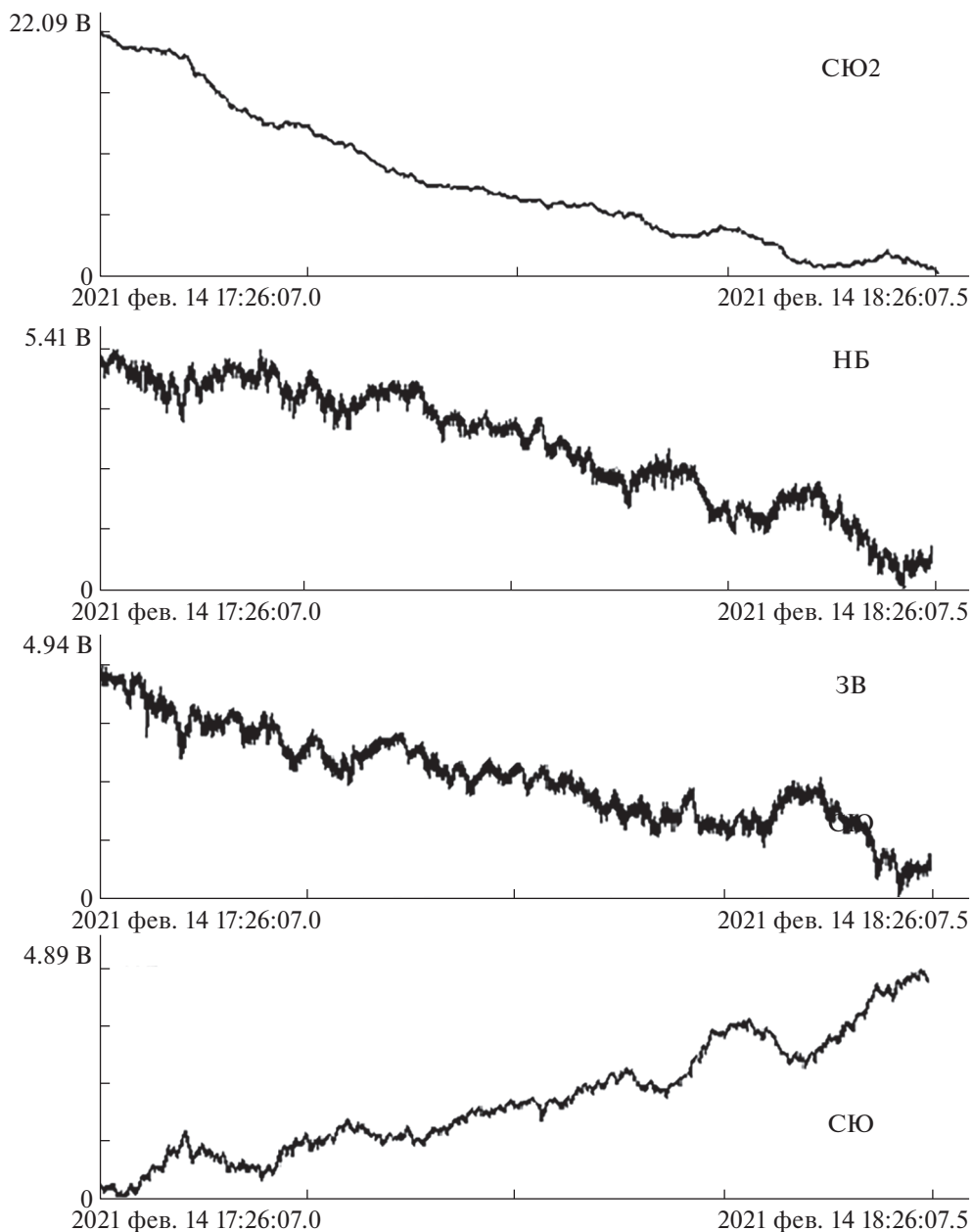


Рис. 1. Участки записи для определения баро-деформационного коэффициента. Отмечены участки с соответствующими им приборами: СЮ – лазерный деформограф с ориентацией север–юг (измерительное “плечо” 52.5 м); НБ – лазерный нанобарограф; ЗВ – лазерный деформограф с ориентацией “запад–восток” (измерительное “плечо” 17.5 м); СЮ2 – лазерный деформограф с ориентацией “север–юг” (измерительное “плечо” 52.5 м).

участка земной коры к приращению давления, нормированный к длине измерительного “плеча” интерферометра. Таким образом, этот коэффициент отражает степень влияния атмосферных процессов на деформацию земной коры,

$$k = \frac{\Delta L}{L \Delta P}, \quad (1)$$

где k – баро-деформационный коэффициент, L – измерительное плечо лазерного деформографа,

P – атмосферное давление. В процессе обработки первичные данные подвергались фильтрации и децимации для устранения гармоник высокой частоты. После этого для выбранных условий по метеособытиям выбирались временные отрезки записи лазерного нанобарографа длительностью в 1 ч с однонаправленной тенденцией увеличения или уменьшения давления и соответствующие им записи лазерных деформографов. Коэффициент корреляции участков записей деформографов по

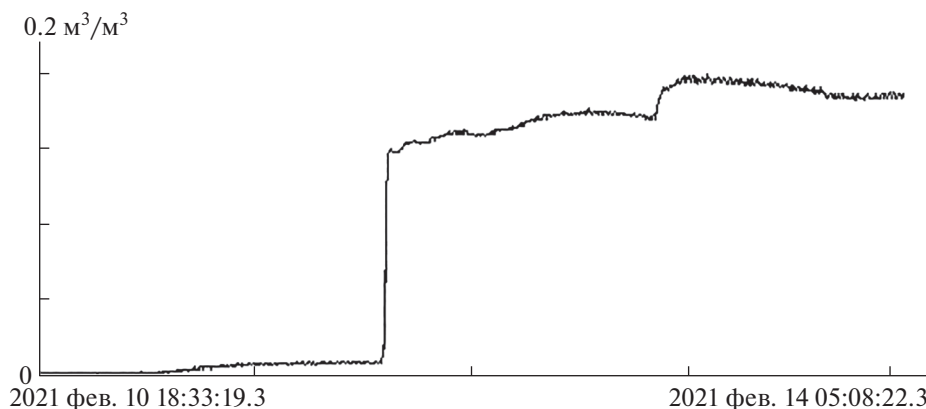


Рис. 2. График увлажнения почвы. Оттепель в феврале 2021 г. Длительность участка записи 82 ч.

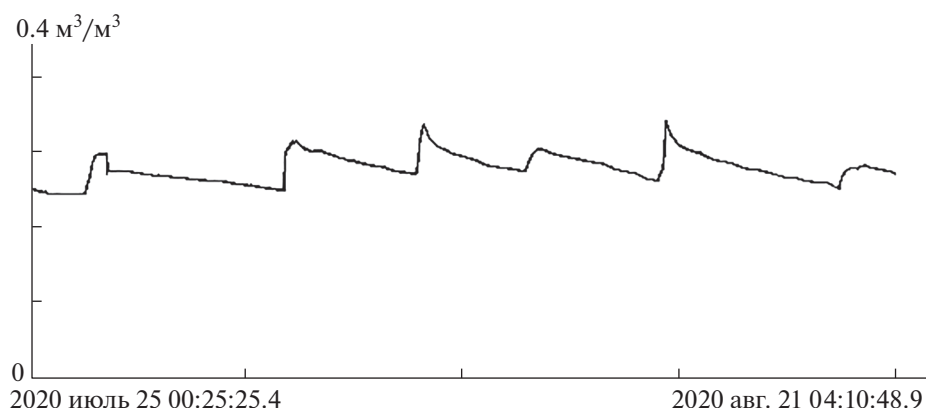


Рис. 3. График увлажнения почвы. Частые периодические дожди летом 2020 г.

отношению к нанобарографу при этом находится в диапазоне 0.8–0.9. Для каждого из участков был определен баро-деформационный коэффициент (относительно каждого из деформографов) и занесен в табл. 1 с указанием условий состояния почвы и метеособытий на момент получения данных. В итоге были обработаны данные с 25 июня 2020 г. по 15 декабря 2021 г. и выбраны 19 участков записи. Они характеризуются изменениями увлажненности пограничного с атмосферой верхнего слоя земной коры в разные сезоны с соответствующей им температурой. Пример такого участка записи приведен на рис. 1, в табл. 1 он имеет порядковый номер 10. На графиках величина деформации, регистрируемая приборами, указана в вольтах напряжений, генерируемых системой регистрации соответствующего лазерного деформографа. Указанные значения напряжений пропорционально связаны с величиной деформации.

В первом столбце табл. 1 порядковый номер участка записи помечен звездочкой в случае, когда условия по увлажненности почвы резко меня-

ются за короткое время относительно предыдущего участка. Такое случается, например, при сильных осадках или весеннем увеличении среднесуточной температуры, вызывающее таяние льда и снега. Анализируя данные табл. 1 для случаев резкого изменения увлажненности почвы, была выявлена закономерность изменения баро-деформационного коэффициента. В большинстве наблюдаемых случаев, после значительного увеличения влажности почвы коэффициент увеличивал свое значение. Это говорит о том, что смачивание даже небольшого верхнего пограничного с атмосферой слоя грунта увеличивает его эластичность и приводит к тому, что в целом верхний слой земной коры становится более восприимчив к колебаниям давления.

Наблюдаемая зависимость, однако, соблюдается не во всех случаях. Например, длительная оттепель в феврале 2021 г., вызвавшая таяние льда и снега со значительным увлажнением почвы (рис. 2), не привела к увеличению баро-деформационного коэффициента, а даже напротив, не-

сколько снизила его значение по данным всех лазерных деформографов.

Предполагается, что увлажнение самого верхнего слоя почвы, вызванное оттепелью, не приводит к увеличению эластичности слоя грунта, а даже наоборот, влага, проникающая сверху, быстро охлаждается, проникая в более низкие слои и, превращаясь в лед, увеличивает жесткость.

Замечено также, что зависимость плохо соблюдается в случаях, когда дожди идут часто с некоторой периодичностью и почвенный слой постоянно смачивается, снова подсыхает, потом процесс повторяется (рис. 3). В этом случае при подсчете баро-деформационного коэффициента с разных деформографов получают самые разные данные направления приращения его значения. Вероятно, это связано с рваным и неравномерным режимом смачивания и осушения, а также со сложным рельефом места расположения измерительного комплекса и направлением ветра.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в результате выполнения данного исследования данные о межгеосферном взаимодействии могут быть использованы при интерпретации данных, полученных деформографами различных типов, установленных в приповерхностном варианте или непосредственно на грунт. Определение корректирующих коэффициентов в составляющих сигнала, имеющих свой вклад в результирующую деформацию, позволит фильтровать и выделять необходимые компоненты сигнала. Кроме того, появляется возможность более точного вычитания из сигнала с учетом корректирующих коэффициентов этих компонент с целью обнаружения “замаскированных” ими деформационных процессов, что, несомненно, важно для расширения круга задач, решаемых приборами для мониторинга деформационных полей верхнего слоя земной коры.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФ, проект № 22-17-00121 “Возникновение, развитие и трансформация геосферных процессов инфразвукового диапазона”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zurn W., Ferreira A.M.G., Widmer-Schmidrig R., Lentas K., Rivera L., Clevede E. High-quality lowest-frequency normal mode strain observation at the Black Forest Observatory (SW-Germany) and comparison with horizontal broad-band seismometer data and synthetics // *Geophys. J. Int.* 2015. V. 203. P. 1787–1803.
2. Roumelioti Z., Hollender F., Guéguen P. Rainfall-Induced Variation of Seismic Waves Velocity in Soil and Implications for Soil Response: What the ARGONET (Cephalonia, Greece) Vertical Array Data Reveal // *Bull. Seismol. Soc. Am.* 2020. V. 110. № 2. P. 441–451.
3. Долгих Г.И., Валентин Д.И., Долгих С.Г., Ковалев С.Н., Корень И.А., Овчаренко В.В., Фищенко В.К. Применение лазерных деформографов вертикальной и горизонтальной ориентаций в геофизических исследованиях переходных зон // *Физика Земли.* 2002. № 8. С. 69–73.
4. Долгих Г.И., Ковалев С.Н., Корень И.А., Овчаренко В.В. Двухкоординатный лазерный деформограф // *Физика Земли.* 1998. № 11. С. 76–81.
5. Долгих Г.И., Корень И.А., Овчаренко В.В. Влияние вариаций атмосферного давления на показания лазерного деформографа // *Физика Земли.* 2001. № 11. С. 92–96.
6. Долгих Г.И., Долгих С.Г. Учет воздействия атмосферного давления на деформацию земной коры // *Доклады Российской академии наук. Науки о Земле.* 2021. Т. 500. № 2. С. 168–172. <https://doi.org/10.31857/S2686739721100091>
7. Долгих Г.И., Долгих С.Г., Ковалев С.Н., Корень И.А., Новикова О.В., Овчаренко В.В., Окунцева О.П., Швец В.А., Чупин В.А., Яковенко С.В. Лазерный нанобарограф и его применение при его изучении баро-деформационного взаимодействия // *Физика Земли.* 2004. № 8. С. 82–90.

FEATURES OF THE INFLUENCE OF WEATHER CONDITIONS ON THE DEFORMATION PROCESSES OF THE UPPER LAYER OF THE EARTH'S CRUST

Academician of the RAS G. I. Dolgikh^{a, #}, S. V. Yakovenko^a, and I. E. Stepochnik^b

^a Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far East Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

^b Far Eastern Climate Smart Lab, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

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

The influence of temperature and moisture content of the near-surface soil layer on variations of the baro-deformation interaction of the boundary layer of the Earth's crust and the atmosphere has been studied using synchronous data from laser deformatographs, soil temperature and moisture sensors.

Keywords: deformation, atmospheric pressure, temperature, soil moisture content