

В.Н. Боков, В.Н. Воробьев

ВОЗДЕЙСТВИЕ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ НА НАКЛОНЫ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

V.N. Bokov, V.N. Vorobiev

IMPACT OF ATMOSPHERIC CIRCULATION ON INCLINATIONS OF A TERRESTRIAL SURFACE

Представлен один из случаев совместного анализа изменения атмосферной циркуляции и геофизических измерений в период подготовки умеренного землетрясения. Показано, что изменения атмосферного давления во времени и в пространстве приводит к возникновению наклонов земной поверхности, деформации земной коры, выходу радона и инициирует землетрясение.

Ключевые слова: изменение атмосферного давления, наклоны земной поверхности, землетрясения.

One of cases of the joint analysis of change of atmospheric circulation and geophysical measurements during preparation of a moderate earthquake is presented. It is shown that changes of atmospheric pressure in time and in space leads to emergence of inclinations of a terrestrial surface, crust deformation, an exit of radon and initiates an earthquake.

Key words: change of atmospheric pressure, inclinations of a terrestrial surface, earthquake.

Исследования пространственно-временных вариаций наклонов земной поверхности важны для многих теоретических и прикладных геофизических приложений. Однако измерения тектонических и приливных наклонов затрудняются под влиянием помех в низкочастотной области [5, 6, 12]. Основным источником, вызывающим неприливное наклоны земной поверхности в низкочастотной области, являются вариации атмосферного давления [5, 6]. При этом возникает парадоксальная ситуация. Геофизики отчетливо наблюдают значимую корреляцию между вариациями атмосферного давления и наклонами земной поверхности в синоптическом диапазоне (от 2 до 10 суток) [12], но вариации атмосферного давления относят к помехам. Пространственно-временная изменчивость атмосферных вихрей обуславливает барические вариации, которые создают квазипериодические наклоны и напряжения земной поверхности как за счет вертикальных нагрузок F , так и за счет образующихся в земной коре касательных напряжений τ [1–3, 8, 10].

Представляет интерес выявить влияние пространственно-временной изменчивости атмосферного давления на наклоны земной поверхности не как помеху, а как основной фактор наклонов поверхности.

Напряжения, существующие в верхней части земной коры, обусловлены действием массовых и поверхностных сил [7]. Для внутриплатформенных областей напряженное состояние в земной коре возникает под действие собственного веса и определяется деформированием пород в условиях горизонтального стеснения [7]:

$$\sigma_{zz} = -\gamma H, \quad \sigma_{xx} = \sigma_{yy} = -\frac{\nu}{1-\nu} \gamma H, \quad \sigma_{ij} = 0 (i, j = x, y, z; i \neq j),$$

где ν – коэффициент Пуассона; γ – средний удельный вес колонки горных пород с толщиной H ; ось z направлена вертикально.

Согласно работе [7], вертикальные напряжения сжатия равны весу столба горных пород на данной глубине и являются главными сжимающими напряжениями $\sigma_{zz} = \sigma_3$.

Они являются активными напряжениями, а горизонтальные напряжения – реактивными, сгенерированными боковым стеснением пород, что означает невозможность их свободного деформирования в горизонтальном направлении. Следует подчеркнуть, что условие бокового стеснения для горных пород особенно сильно проявляется при действии массовых сил. Для $\nu = 0,25$ (значение коэффициента в горных породах) вертикальные сжимающие напряжения втрое больше горизонтальных сжимающих напряжений [7]. Следовательно, усиление вертикальной нагрузки является определяющей для возникновения напряжений у земной поверхности.

Влияние изменчивости атмосферного давления на динамические процессы, происходящие у земной поверхности (выделение литосферных газов, увеличение температуры, изменение уровня грунтовых вод и т.д.), было отмечено еще в конце 50-х годов прошлого века [4, 11].

Наклоны земной поверхности, приводящие к деформации участков земной коры, широко используются для попыток прогнозирования землетрясений. На рис. 1, взятом из работы [5], приведены временные ряды изменения наклона земной поверхности в направлении север–юг и вариации атмосферного давления, измеренные на ст. Протвино в августе–сентябре 1997 г. Из рис. 1 достаточно четко прослеживается влияние атмосферного давления на наклоны земной поверхности. В то же время присутствует и неопределенность, связанная с тем, что оценка связей между данными измерениями проводится по амплитуде измерений и не учитывается пространственное влияние (дальние связи) полей атмосферного давления.

Постоянные неудачи в прогнозировании сейсмических явлений убеждают нас в том, что представления сейсмологов о механизме генерации землетрясений достаточно далеки от реального природного процесса. Большинство существующих представлений о процессе подготовки землетрясения взяты из механики прочности природных материалов [9].

Подчеркнем, что прямых наблюдений в земной коре практически нет (только на малых глубинах поверхности коры) и в основе всех моделей генерации землетрясений лежат теоретические представления, основанные на логике процессов изучаемых в механике сплошных сред.

Информация по измерению наклонов демографами на полигоне Северного Тянь-Шаня опубликована в работах Института геофизики УрО РАН [13]. Часть измерений, выполненных на полигоне в первой декаде декабря 2002 г., отраже-

на на рис. 2, в комплексе измерений литосферных газов радона и торона. В этот период во второй половине 4 декабря произошло сейсмическое событие с магнитудой около $M = 4$.

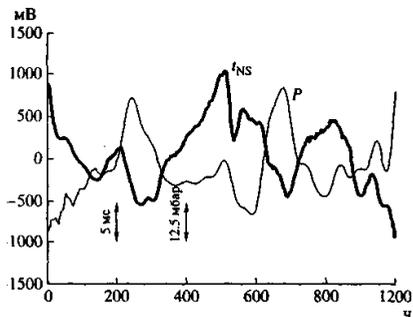


Рис. 1. Временные ряды изменения наклона земной поверхности в направлении север–юг (t_{NS}) и вариации атмосферного давления (P) на ст. Протвино

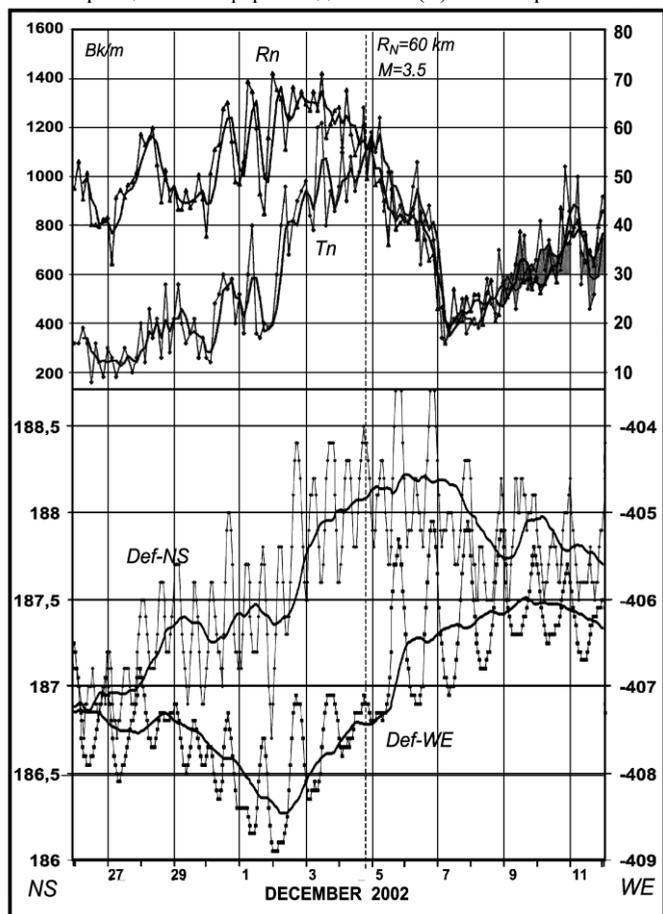


Рис. 2. Временные вариации радона и торона перед сейсмическим событием 5 декабря 2002 г. (верхний). Измерения деформографа перед событием 5 декабря 2002 г. (нижний) [13]

Проведем анализ пространственно-временной изменчивости атмосферного давления относительно точки эпицентра землетрясения и на соседних территориях в предшествующий период этого небольшого землетрясения. На рис. 3 представлены поля атмосферного давления за 2–5 декабря 2002 г. Из рисунков видно, что к северу от эпицентра, который обозначен знаком *, находился центр антициклона, который, усиливаясь, в течение четырех дней смещался с запада на восток. При этом происходило увеличение деформации земной коры как с запада на восток, так и с севера на юг. Эти наклоны, вызванные пространственным изменением атмосферного давления и медленным смещением антициклона от ЮЗ на СВ, четко показывают измерения деформографа, приведенные на рис. 2 (нижний).

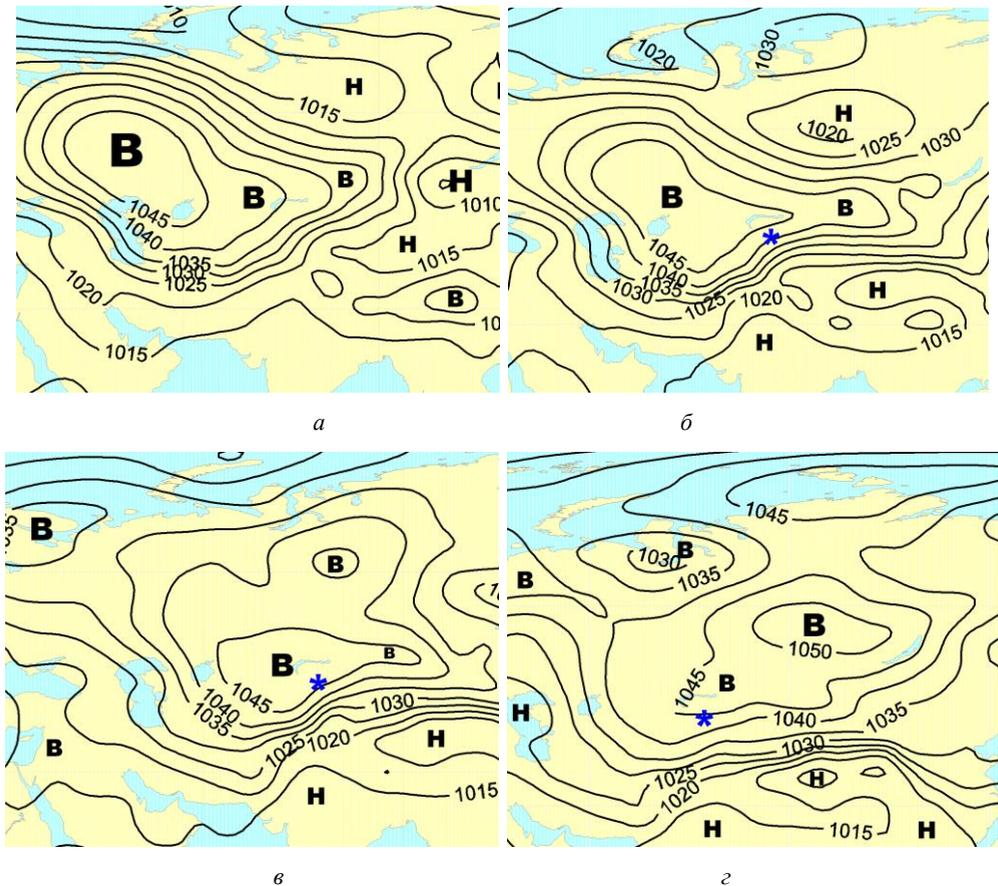


Рис. 3. Поле атмосферного давления над центральной Азией 2 декабря (а), 3 декабря (б), 4 декабря (в), 5 декабря (г) 2002 г.

Наибольшее давление на земную кору было оказано антициклоном в ночь с 4 на 5 декабря (это видно из рис. 3 и рис. 2), что и привело к возникновению

землетрясения. Однако, подчеркнем, что землетрясение произошло уже на спаде концентрации радона, но деформация коры еще продолжала расти, судя по данным деформографов (рис. 2).

Указанные факты позволяют сделать вывод о бесперспективности использования как тепловых аномалий, так и выхода радона при краткосрочном прогнозировании землетрясений, поскольку визуально определить время землетрясения по графикам их измерений нельзя. Данные геофизические измерения могут выполнить предназначенную им прогностическую роль только в случае совместного использования с прогностическими метеорологическими данными. В этом можно убедиться, если проанализировать расчетные значения барических нагрузок $\Delta P(r, t)$, (где r – пространство, t – время) в момент землетрясения.

Рассмотрим рис. 4, на котором представлены поля изменения барических нагрузок за 4 и 5 декабря 2002 г. На карте за 4 декабря нулевая изолиния $\Delta P(r, t)$ проходит с севера на юг и находится немного западнее эпицентра. На карте за 5 декабря нулевая изолиния проходит уже с севера-востока на юго-запад и находится немного восточнее эпицентра. Поскольку сейсмическое событие произошло в вечернее время 4 декабря, а метеорологическая информация имеется только раз в сутки (12 ч), то пришлось использовать две карты пространственного распределения барических тенденций. При наличии более подробной метеорологической информации можно было бы получить более точное пространственно-временное положение нулевой изолинии $\Delta P(r, t)$, указывающее место эпицентра. Приведенное пространственно-временное положение $\Delta P(r, t)$ позволяет уверенно определить время и место предполагаемого землетрясения.

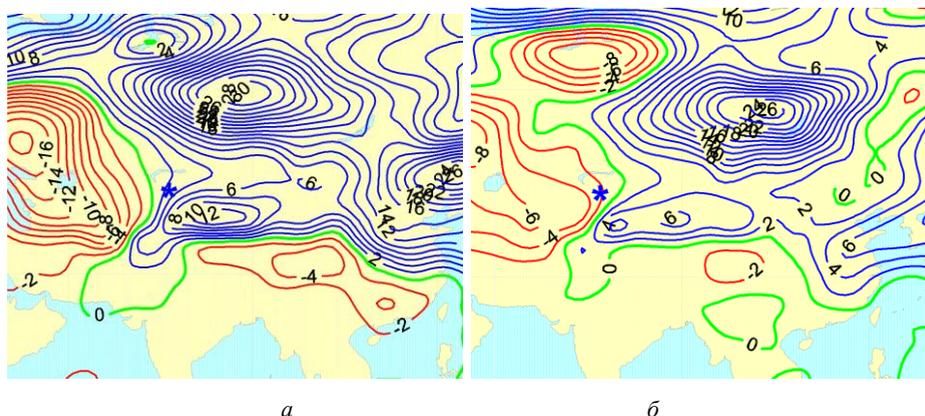


Рис. 4. Поле барических нагрузок над центральной Азией 4 декабря (а) и 5 декабря (б) 2002 г.

Обратившись в свой архив прогнозов, мы обнаружили, что выставляли прогноз рассматриваемого землетрясения за двое суток до его возникновения. Если бы нам в то время были доступны оперативные данные по измерениям концентрации радона и измерения наклонов и деформаций у земной поверхности, то мы могли бы уточнить место эпицентра с еще большей достоверностью.

Таким образом, рассмотренный случай изменения атмосферной циркуляции показал, что изменчивость атмосферного давления во времени и в пространстве, т.е. движение антициклонов и циклонов приводит к возникновению наклонов земной поверхности, деформации земной коры, выходу радона и инициирует землетрясение.

Литература

1. *Боков В.Н.* Изменчивость атмосферной циркуляции – инициатор сильных землетрясений // Изв. РГО РАН, 2003, т. 135, вып. 6, с. 54-65.
2. *Боков В.Н., Воробьев В.Н.* О связи сильных землетрясений с атмосферной циркуляцией в сезонном и межгодовом диапазонах изменчивости // Сб. трудов конф. «Юбилейные чтения памяти А.Л. Чижевского, посвященные 110-летию ученого» 27–30 ноября 2007. – СПб.: изд. Политех. ун-та, 2007, с. 51-56.
3. *Боков В.Н., Гутшабаши Е.Ш., Потиха Л.З.* Атмосферные процессы как триггерный эффект возникновения землетрясений // Уч. зап. РГГМУ, 2011, №18, с. 173-184.
4. *Гохберг М.Б.* Взаимодействие процессов в литосфере и у земной поверхности с внешними оболочками Земли // Геофизика на рубеже веков: Избранные труды ученых ОИФЗ РАН. – М.: ОИФЗ РАН, 1999, с. 163-169.
5. *Латынина Л.А., Васильев И.М.* Деформация земной коры под влиянием атмосферного давления // Физика Земли, 2001, № 5, с. 45-54.
6. *Перцев Б.П., Ковалева О.В.* Оценка влияния колебаний атмосферного давления на наклоны и линейные деформации земной поверхности // Физика Земли, 2004, № 8, с. 79-81.
7. *Ребецкий Ю.Л.* Механизм генерации тектонических напряжений в областях больших вертикальных напряжений // Физическая мезомеханика, 2008, № 11, с. 66-73.
8. *Сидоренков Н.С.* Физика неустойчивостей вращения Земли. – М.: Наука, 2002.
9. *Соболев Г.А., Пономарев А.В.* Физика землетрясений и предвестники. – М.: Наука, 2003. – 270 с.
10. *Сытинский А.Д.* Связь сейсмичности Земли с солнечной активностью и атмосферными процессами. – Л.: Гидрометеониздат, 1987. – 100 с.
11. *Трубицин А.П., Макалкин А.Б.* Деформации земной коры под действием атмосферных циклонов // Физика Земли, 1976, № 5, с. 94-96.
12. *Широков И.А., Анохина К.М.* О связи пространственно-временных вариаций наклонов земной поверхности с вариациями атмосферного давления // Физика Земли, 2003, № 1, с. 84-87.
13. *Уткин В.И., Юрков А.К.* Динамика выделения радона из массива горных пород как краткосрочный предвестник землетрясения // Докл. РАН, 1998, т. 358, № 5, с. 675-680.