

УДК 550.34

ВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ СВОЙСТВ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

© 1995 г. О. В. Олейник, А. Г. Гамбурцев

Представлено академиком Ю.М. Пушаровским 10.10.94 г.

Поступило 20.10.94 г.

Одним из феноменов нелинейной геодинамики [1] является временная изменчивость нелинейных свойств геологической среды. Она фиксируется при повторных геофизических, геохимических, гидрогеологических и геодезических измерениях [2 - 4]. Особенно сильные вариации свойств приурочены к наиболее тензочувствительным объемам геологической среды, каковыми, в первую очередь, являются залежи углеводородов, зоны разломов, верхние метры геологического разреза. Вариации геофизических полей обусловлены влиянием эндогенных и экзогенных процессов. Среди них глубинные геодинамические, космические, техногенные источники, изменение скорости вращения Земли, атмосферного давления и др.

В последнее время появляются все более убедительные работы, свидетельствующие о вариациях сейсмических параметров, обусловленных воздействием лунно-солнечных приливов [5 - 7]. В этих работах исследованы вариации интенсивности сейсмоэмиссионного шума (СЭШ). Насколько можно судить из приведенных в них данных, временные ряды интенсивности СЭШ в одни интервалы времени удовлетворительно совпадают с графиками приливных поправок силы тяжести, в другие – не совпадают.

Мы имеем возможность проанализировать экспериментальные материалы прецизионных сейсмических и гравиметрических наблюдений, выполненных в течение нескольких суток и повторенных через 8.5 месяцев. Цель этого анализа состоит в том, чтобы более подробно изучить вопрос о реакции горных пород на приливные воздействия. ВНИИзарубежгеологии и американской компанией Тексако на нефтяном месторождении Салем, штат Южный Иллинойс, США, были совместно осуществлены комплексные полевые работы с повторными геофизическими наблюдениями [8, 9]. Сейсмические и гравиметрические наблюдения выполнены американскими специалистами. Неко-

торые результаты в графическом виде были любезно предоставлены авторам. Сейсмический мониторинг проводился с 18 по 21 декабря 1991 г. (первый этап) и с 27 по 31 августа 1992 г. (второй этап). Схема наблюдений приведена на рис. 1. К сожалению, системы наблюдений во время работ первого и второго этапов различались. Возбуждения осуществлялись при помощи взрывов каждые 30 мин в течение 72 ч на первом этапе и 108 ч на втором этапе наблюдений. Масса заряда составляла 200 г. Глубина взрывов 75 м на первом этапе (точка S_1) и 42 м на втором этапе (точка S_2). Сигналы регистрировались сейсмоприемниками, расположенными в скважинах на глубинах 80 м (точка A_1), 914 м (точка B_1), 62 м (точка C_1) на первом этапе наблюдений и на глубинах 87 м (точка A_2), 375 м (точка B_2) на втором этапе наблюдений. Параллельно непрерывно измерялось поле силы тяжести.

При обработке данных мониторинга использовались два параметра: девиация времени пробега прямой продольной волны Δt , зарегистрированной приборами в скважинах, и изменения ускорения силы тяжести Δg . Мы оцифровали графики временных рядов $\Delta t(T)$ и $\Delta g(T)$. Дискретность оци-

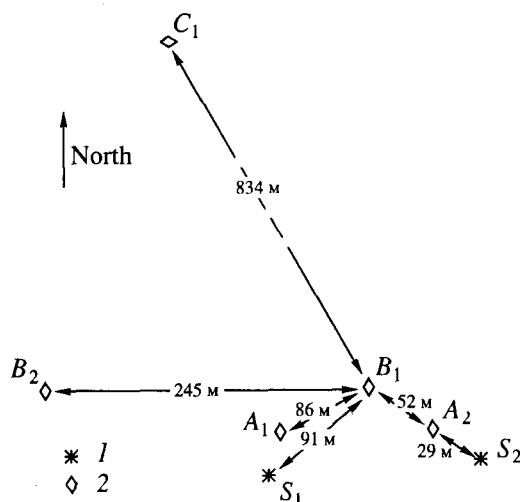


Рис. 1. Схема расположения скважин во время полевых работ на первом и втором этапах наблюдения. 1 – точки возбуждения, 2 – точки регистрации.

фровки составляла по горизонтали 0.4 ч, по вертикали 0.1 мс и 3 мкГал. Графики временных рядов, соответствующие двум этапам наблюдений, приведены на рис. 2. Видно визуально и подтверждается при обработке, что для двух этапов кривые сильно различаются. Для первого этапа наблюдается удовлетворительное сходство кривых. При спектральном анализе обоих рядов выделяется суточная составляющая. На спектре ряда $\Delta g(T)$ также хорошо прослеживается полусуточная гармоника. Обращает на себя внимание следующий факт. Временные ряды девиации времени пробега, измеренные на первом этапе на глубинах 62 и 914 м, по форме схожи, но смещены относительно друг друга и имеют максимальный коэффициент корреляции с $\Delta g(T)$ при разных сдвигах. Сдвиг равен 1.8 ч для $\Delta t(T)$, полученного на глубине 62 м, и 22 ч для $\Delta t(T)$, полученного на глубине 914 м. Соответствующие величины коэффициентов корреляции равны 0.72 и 0.80. Это может быть связано с запаздыванием реакции среды на приливное воздействие. Заметим, что примерно при таком же сдвиге (20 ч) коэффициент корреляции между двумя временными рядами $\Delta t(T)$ для глубин 62 и 914 м равен 0.9.

Перейдем к рассмотрению результатов, полученных при наблюдениях второго этапа. Никакого сходства между кривыми $\Delta t(T)$ и $\Delta g(T)$ нет. Видно, что кривая $\Delta t(T)$ обладает примерно суточными вариациями на фоне отрицательного тренда, а кривая $\Delta g(T)$ варьирует с четким полусуточным периодом. Это подтверждается и проведенной обработкой. Таким образом, во временных рядах $\Delta t(T)$ суточная составляющая преобладает как на первом, так и на втором этапе наблюдений, а в рядах $\Delta g(T)$ на первом этапе доминируют суточная и полусуточная гармоники, а на втором — только полусуточная.

Мы видим, что между результатами обоих этапов имеются сильные различия. Подобные различия зафиксированы и в других исследованиях. В работах А.С. Белякова с соавторами [6, 7] рассмотрены временные вариации сейсмических шумов в сопоставлении с расчетными графиками приливных поправок силы тяжести. Приведенные в [6, 7] и ряде других работ данные показывают, что в одни интервалы времени существует очень хорошее сходство кривых, а в другие такое сходство отсутствует. Это, по нашему мнению, свидетельствует о временных вариациях нелинейных свойств среды и не всегда адекватной реакции среды на внешние воздействия. Наблюдающиеся ритмические составляющие лунной сейсмичности также то соответствуют приливному ритмам (и это может продолжаться достаточно долго), то не соответствуют им [10].

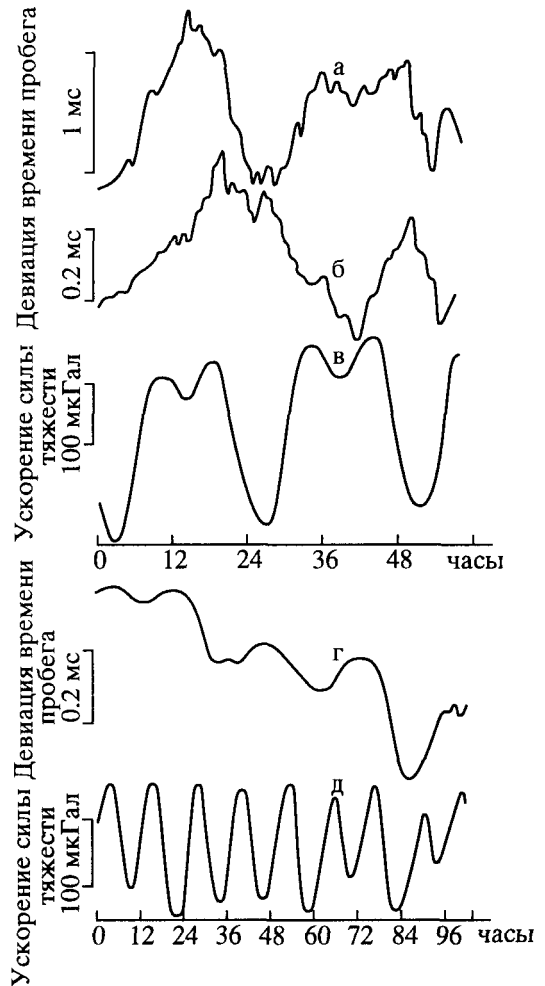


Рис. 2. Графики временных рядов $\Delta t(T)$ от точки A_1 к точке C_1 (а), от точки A_1 к точке B_1 (б) и $\Delta g(T)$ (в) на первом этапе наблюдений; графики временных рядов $\Delta t(T)$ от точки A_2 к точке B_2 (г) и $\Delta g(T)$ (д) на втором этапе наблюдений.

Для того чтобы проиллюстрировать явление попеременной схожести и несхожести временных рядов $\Delta t(T)$ и $\Delta g(T)$, мы построили кривые зависимости $\Delta t(\Delta g)$. Уменьшение ускорения силы тяжести в рассматриваемом случае соответствует уплотнению среды, увеличению скорости пробега волн и, следовательно, уменьшению времени пробега. При неизменном коэффициенте нелинейности кривые зависимости $\Delta t(\Delta g)$ должны представлять собой совпадающие отрезки прямых, направленные в разные стороны; увеличение $\Delta g(T)$ сопровождается увеличением $\Delta t(T)$.

На рис. 3 приведены графики зависимостей $\Delta t(\Delta g)$, полученные из временных рядов, которые представлены на рис. 2а, 2б, 2в и соответствуют первому этапу наблюдений. Стрелками показан временной ход кривых. Кривая на рис. 3а ($\Delta t(T)$ измерено на глубине 62 м) имеет очень сложную форму. Однако видно, что в начальной части ее траектории наблюдаются несколько ветвей, име-

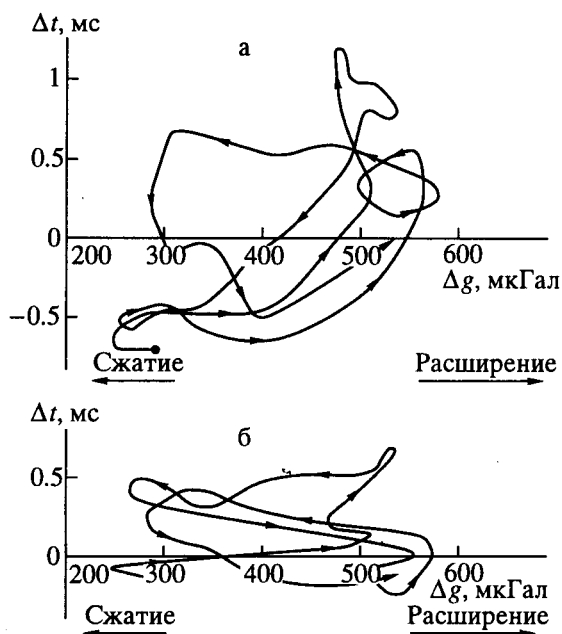


Рис. 3. Графики зависимости $\Delta t(\Delta g)$ для временных рядов $\Delta t(T)$ от точки A_1 к точке C_1 (а) и от точки A_1 к точке B_1 (б).

ющих встречное направление и форму, близкую к линейной. Кривая на рис. 3б ($\Delta t(T)$ измерено на глубине 914 м) представляет собой слабо деформированный эллипс. Отклонения различных частей траектории этой кривой меньше, чем на рис. 3а; наблюдаются две почти совпадающие противоположно направленные ветви. Это, вероятно, объясняется тем, что в этом случае волна в основном проходит по более однородным породам. Для близко совпадающих ветвей обеих представленных кривых оценка коэффициента нелинейности достигает $10^4 - 10^5$. Однако в большей части кривой на рис. 3а увеличение $\Delta g(T)$ соответствует увеличению $\Delta t(T)$, а на рис. 3б – уменьшению $\Delta t(T)$. Наиболее вероятная причина этого заключается в том, что возникающие при приливном воздействии возмущения на разных глубинах имеют фазовые сдвиги. Другими словами, может иметь место деформационная волна, бегущая сверху вниз, и поэтому на большей глубине происходит запаздывание реакции среды на приливное воздействие.

Если считать приливные силы основной причиной изменения скорости пробега волн, то из приведенных рассуждений следует, что коэффициент нелинейности изменяется во времени. Эти изменения, по-видимому, могут быть очень значительными.

Можно также предположить, что геологическая среда в рассматриваемом случае реагирует не на приливные, а на какие-то другие воздействия. Известно, что, кроме приливных возмущений, существуют другие, имеющие суточные вариации.

Например, это атмосферное давление и антропогенные воздействия. Последние, по-видимому, следует исключить, так как наблюдения на обоих этапах проводились как в рабочие, так и в выходные дни. Однако в настоящей статье нас больше интересует вопрос об изменении характера реакции среды за время, прошедшее между двумя этапами наблюдений.

Предложим возможное объяснение наблюдаемому феномену. Различные (по местоположению, составу и т.д.) объемы литосферы воспринимают внешние воздействия индивидуально. Кроме того, один и тот же объем среды в разное время также воспринимает одни и те же воздействия по-разному. Это может быть связано с рядом факторов, в том числе с изменением свойств горных пород в связи с расширением и смыканием трещин, приходом и уходом флюидов и т.д. Таким образом, мы можем говорить о выраженной зависимости тензочувствительности среды от времени. Одним из особых проявлений нелинейности горных пород может служить неадекватная реакция среды на внешние воздействия. Примеры такой реакции: сильный отклик на слабое воздействие (землетрясения, инициированные приливной силой), различные частоты при воздействии и при отклике, автоколебательные процессы.

Работа выполнена при поддержке гранта № 93–05–9748 Российского фонда фундаментальных исследований. Авторы благодарят академика Ю.М. Пушаровского за интерес к статье и приглашение участвовать в работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пушаровский Ю.М. // Геотектоника. 1993. № 1. С. 3 - 6.
2. Сейсмический мониторинг земной коры. М.: Наука, 1986. 290 с.
3. Гамбурцев А.Г. Сейсмический мониторинг литосферы. М.: Наука, 1992. 200 с.
4. Современная геодинамика и нефтегазоносность. М.: Наука, 1989. 199 с.
5. Рыкунов Л.Н., Цытлаков В.В., Хаврошкин О.Б. // ДАН. 1978. Т. 238. № 2. С. 363 - 366.
6. Беляков А.С., Верещагина Г.М., Кузнецов В.В. // ДАН. 1990. Т. 313. № 1. С. 53 - 54.
7. Беляков А.С., Кузнецов В.В., Лавров В.С. и др. // ДАН. 1987. Т. 295. № 3. С. 567 - 568.
8. Тэттем Р., Пернел Г., Миллер Р. и др. Москва-92. Междунар. геофиз. конф. и выст. по разведочной геофизике. Сб. реф. М., 1992. С. 260 - 261.
9. Тэттем Р., Пернел Г., Миллер Р. и др. Москва-93. Междунар. геофиз. конф. и выст. по развед. геофиз. Сб. реф. М., 1993. С. 190 - 191.
10. Галкин И.Н., Гамбурцев А.Г., Гамбурцева Н.Г. и др. // ДАН. 1993. Т. 330. № 2. С. 252 - 255.