

В. Ф. БОНЧКОВСКИЙ

**ДЕФОРМАЦИИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОД ВЛИЯНИЕМ
ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

(Представлено академиком О. Ю. Шмидтом 31 III 1948)

Модуль твердости μ земной коры по сейсмическим данным, определяемый из соотношения

$$\mu = v_s^2 \delta = v_p^2 \delta \frac{m-2}{2(m-1)},$$

где v_p и v_s — скорости продольных и поперечных волн, δ — плотность, $m = 1/\sigma$, σ — коэффициент Пуассона, равен $3 \cdot 10^{11}$ дин/см². Для самых верхних слоев земной коры μ колеблется от значений $0,1 \cdot 10^{11}$ до $4 \cdot 10^{11}$ дин/см².

Что касается различных почв, то их модуль твердости, вероятно, значительно ниже приведенных величин, так как наблюдаемые в них скорости сейсмических волн имеют малые значения. Не исключена, однако, возможность, что для упругих колебаний различных периодов модуль твердости одной и той же породы может принимать различные значения.

Работами Дж. Дарвина еще в 1882 г. установлена зависимость между деформациями (прогибами и наклонами) земных слоев под влиянием внешних сил в зависимости от модуля твердости самих деформируемых слоев. Предполагая, что внешняя сила, действующая на земную поверхность, изменяется по закону синуса, Дарвин получил следующие два уравнения:

$$w = \frac{g\delta h}{4\pi\mu} \lambda \left(1 + 2\pi \frac{z}{\lambda} \right) e^{-2\pi(z/\lambda)} \cos 2\pi \frac{x}{\lambda}, \quad (1)$$

$$u = \frac{g\delta h}{2\mu} z \left(1 + 2\pi \frac{z}{\lambda} \right) e^{-2\pi(z/\lambda)} \sin 2\pi \frac{x}{\lambda}, \quad (2)$$

где w и u — смещения по вертикали и горизонтали, h — наибольшая высота слоя, производящего давление, g — ускорение силы тяжести, δ — плотность, λ — длина волны при синусоидальном распределении внешней силы, μ — модуль твердости, z — глубина от поверхности земли, x — расстояние по горизонтали.

Примем, что такой внешней силой будет изменяющееся атмосферное давление на земную поверхность в виде циклонов и антициклонов. Допустим также, что антициклон с правильными круговыми изобарами расположен между двумя столь же правильно сформированными циклонами. В центре антициклона и циклонов разница давлений составляет 50 мм рт. ст. Расстояние между их центрами равно 1000 км.

Применяя к этому случаю уравнения Дарвина, мы рассчитали прогиб земной поверхности, форма которого представлена на кривой *a* на рис. 1. Модуль твердости при этих расчетах был принят равным $3 \cdot 10^{11}$ дин/см², т. е. средним для земной коры. Как видим, максимальный прогиб при этих условиях равен 3,5 см.

Согласно кривой прогибов *a* можно получить и кривую изменения наклонов земной поверхности. Теоретическая величина наклона может быть получена путем дифференцирования w по x , а именно:

$$\frac{dw}{dx} = -\frac{g\delta h}{2\mu} \left(1 + 2\pi \frac{z}{\lambda}\right) e^{-2\pi(z/\lambda)} \sin 2\pi \frac{x}{\lambda}. \quad (3)$$

Расчет наклонов для земной поверхности приводит к установлению характера их изменений, согласно кривой *b* на рис. 1. Сопоставление кривых *a* и *b*

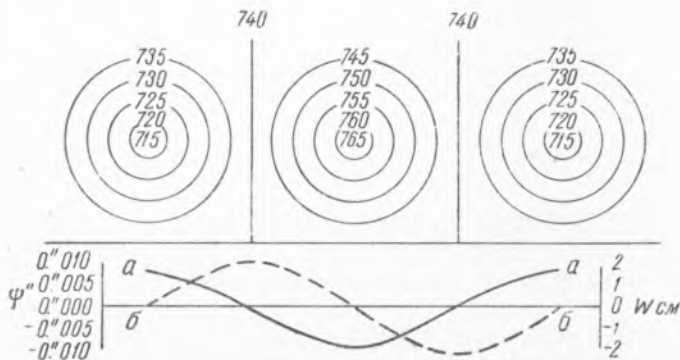


Рис. 1. Кривая прогибов (*a*) и наклонов (*b*) земной поверхности под действием антициклона и двух циклонов

величине модуля твердости тех земных слоев, которые испытывают прогибы. Этот расчет имеет и свое практическое значение, так как на основе найденного модуля твердости легко определить фактические упругие деформации земной поверхности, которые могут внести временные искажающие влияния в точные геодезические измерения.

Для выполнения поставленной задачи был использован материал весьма тщательных наблюдений наклонов земной поверхности на Полтавской гравиметрической обсерватории, любезно предоставленный мне З. Н. Аксентьевой. Изучая синоптические карты за время наблюдений, мы остановились на январе 1939 г., так как для этого месяца не было значительных оттепелей и осадков в радиусе 500 км от Полтавы. Особенно благоприятная метеорологическая обстановка наблюдалась по профилю к северу и югу от Полтавы. Все эти обстоятельства необходимо было учесть для большей чистоты сопоставления наклонов и давлений, ибо осадки и оттепели могли вносить свое дополнительное влияние на деформацию земной поверхности.

Для выяснения наличия зависимости давления B и наклонов ψ была составлена карта „бароизоплет“ по меридиану Полтавы, которая дала представление о распределении давления к северу и югу от Полтавы для любого дня января 1939 г. Рядом с картой бароизоплет, с одной и той же осью ординат, изображалась кривая наклонов, как это показано на рис. 2.

Как можно видеть из рис. 2, совпадение областей высокого и низкого давления с соответствующими изгибами кривой наклонов осуществляется довольно хорошо, однако с расхождением во времени

около двух суток, причем распределение давления предшествует соответствующему наклону земной поверхности.

Согласно карте бароизоплет можно также ожидать, что на наклоны, измеряемые на одной станции, преимущественно влияет распределение давления на территории в пределах, не превышающих 10° меридиана. Эта первая качественная характеристика связи наклонов и давления позволила предпринять изучение и числовой связи между ними. С этой целью на ежедневных синоптических картах за январь 1939 г., около Полтавы как центра, проводились круги радиусом в 5° меридиана. Круг делился на четыре сектора (С, З, Ю, В), в каждом из которых планиметром подсчитывалась площадь между соседними изобарами, проведенными через каждые 5 миллибар. Полученная площадь умножалась на среднее давление между изобарами. Сумма подобных произведений вычислялась для каждого из четырех секторов. Рассматривая эти суммы как величины, пропорциональные нагрузке атмосферного давления на каждый сектор, мы вычисляли результирующую нагрузку по направлению С—Ю и В—З.

Другой, более простой прием заключался в образовании разниц давления по изучаемому профилю на расстояниях 10° и 5° меридиана к С и Ю от Полтавы.

Результаты указанных расчетов представлены на рис. 3. Там же представлены и наклоны в виде двух кривых, из которых одна (ψ) представляет ход наклонов, непосредственно снятых с клинограмм и имеющих ясно выраженное, довольно правильное смещение нуля-пункта под влиянием причины, более длительно действующей на положение маятников, которое можно выразить уравнением с числовыми коэффициентами в следующем виде: $y = 1,96 + 0,06 t - 0,016 t^2$, где y — ордината наклона в миллиметрах

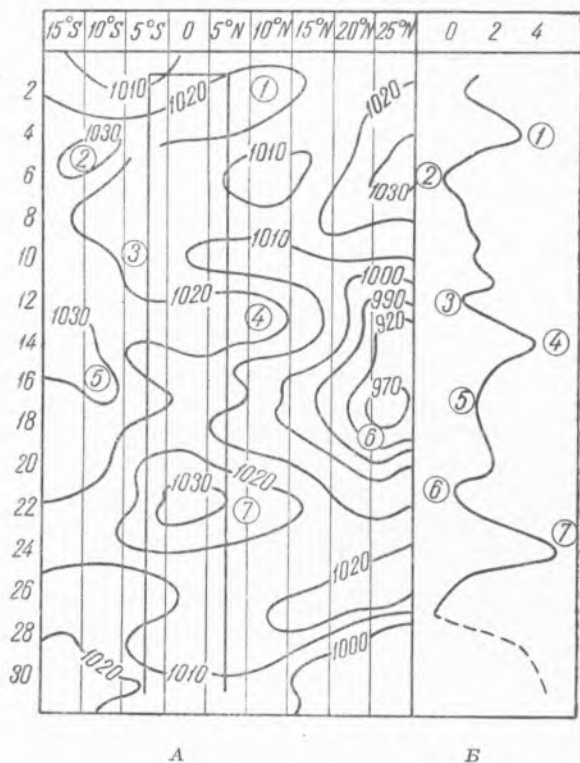


Рис. 2 А — бароизоплеты (по профилю к С и Ю от Полтавы) для января 1939 г.; Б — наклоны в Полтаве

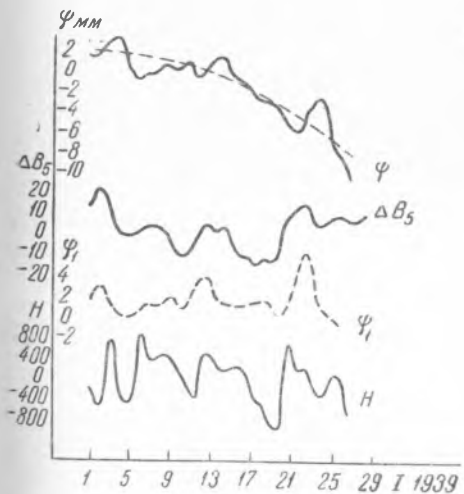


Рис. 3. Полтава. ψ — наблюдаемые наклоны, ψ_1 — наклоны, исправленные за счет изменения нуля-пункта, ΔB_5 — разница давлений в миллибарах между 5° к С и 5° к Ю от Полтавы, H — нагрузки атмосферного давления

смещения световой точки, t — время в сутках. Другая кривая (ψ_1) изображает ход наклонов, исправленных за счет движения нуля-пункта и сдвинутых назад по времени на двое суток, согласно предыдущим выводам.

Рассматривая рис. 3, можно сделать следующие заключения. Кривая нагрузок, вычисленная планиметрическим способом, только в общих чертах имеет сходство с кривой наклонов. Кривые разницы давлений на расстояниях 10 и 5° дают уже значительное сходство и это особенно относится к кривой разниц на расстояниях в 5° к С и Ю от Полтавы. Учитывая совпадающие части кривой разниц давления ΔB_5 и кривой наклонов $\Delta\psi_1$, мы получим следующую таблицу соотношения между ΔB_5 и $\Delta\psi_1$:

ΔB_5	в мб	7	24	7,5	19	21	21	30
$\Delta\psi_1$	в мм	1,2	3,5	1,4	3,5	2,8	4,4	5,5
$\Delta\psi_1/\Delta B_5$		0,17	0,15	0,18	0,18	0,13	0,21	0,18

В среднем разнице в 1 миллибар соответствует изменение наклона на $0,17 \pm 0,02$ мм. Учитывая чувствительность маятников в $0'',02$ на 1 мм смещения световой точки на фотоленте, мы получим, что разнице давлений в 1 мб соответствует наклон на $0'',0034$ дуги. Допустим, далее, что уравнение (3) применимо в нашем случае и что наибольшей разнице давлений в 1 мб (при $\sin 2\pi(x/\lambda)=1$) соответствует наибольший наклон в $0'',0034$; тогда мы можем получить и значение модуля твердости μ тех слоев, которые принимают участие в наклонных движениях. После подстановки в уравнение (3) числовых значений получим следующее выражение для расчета модуля твердости:

$$\mu \approx \Delta B_5/\psi'' \cdot 10^8 \text{ дин/см}^2, \text{ откуда } \mu \approx 0,3 \cdot 10^{11} \text{ дин/см}^2.$$

Таким образом, измерения наклонов, связанных с атмосферным давлением, приводят к заключению, что модуль твердости слоев, принимающих участие в соответствующих деформациях, приблизительно в 10 раз меньше среднего модуля твердости для земной коры или модуля твердости кристаллических пород. Это показывает, что в деформациях под воздействием переменного атмосферного давления принимает участие не вся земная кора, а только ее верхние слои.

Найденный модуль твердости позволяет также вычислить прогибы земной поверхности под влиянием атмосферного давления, как это уже было ранее сделано. При тех же условиях, которые были приняты для рис. 1, наибольший прогиб будет порядка 35 см.

Выводы. Полученные значения деформации указывают на наличие непрерывных наклонных движений земной поверхности, которые, однако, не нарушают некоторого среднего ее положения.

Важно отметить, что величина наклонов зависит от пород, слагающих земную поверхность, поэтому возможно, что по некоторому профилю земной поверхности мы можем, от одной и той же причины, получить большое разнообразие наклонных движений, что, в сущности говоря, полностью подтверждается фактическими материалами. Все эти обстоятельства нельзя не учитывать при прецизионных геодезических измерениях. Если профиль расположен на однородных породах, то упомянутые нами упругие деформации не внесут заметных искажений, так как в одном и том же наклонном процессе участвует, вероятно, достаточная большая территория и мы можем условно принять однородность наклонов на различных точках геодезического профиля. Однако, если точки профиля находятся на различных подстилающих поверхностях, то различие в наклонных движениях неизбежно должно сказаться на точности измерений.