

СЕКЦИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ ГЕОСИСТЕМ

Председатель: С.Б. Турунтаев (д.ф.-м.н., профессор)

Зам. председателя: В.И. Куликов (к.ф.-м.н.)

Секретарь: В.В. Ефремов

Дата: 19.11.2018

Время: 11:00

Место: Москва, Ленинский проспект, 38,
корп. 1., конференц-зал, ИДГ РАН

УДК 550.34.01

Влияние рельефа на наклоны элементов земной коры, вызванные вариациями атмосферного давления

И.Я. Цуркис

Институт физики Земли РАН

Статья посвящена оценке влияния топографии земной поверхности на барические наклоны. Связь между процессами в атмосфере и деформацией элементов земной коры ранее неоднократно обсуждалось, в том числе в работах расчётно-теоретического плана. Начало положила классическая работа [1]. В ней рассматривается упругое полупространство, атмосферное давление над которым меняется вдоль оси x по синусоидальному закону. То есть: рельеф отсутствует, распределение давления неравновесное и должно сопровождаться массопереносом. Эти два момента являются основными в постановке задачи. Авторы последующих работ их так или иначе воспроизводят, см., например, [2, 3].

В данной статье вариации барического поля предполагаются равновесными: это значит, что горизонтальной составляющей y градиента давления нет. В отсутствие рельефа ответные напряжения в земной коре были бы гидростатическими и не влияли бы на наклоны. Наклоны возникают из-за того, что на поверхности Земли давление зависит, меняется в зависимости от высоты. То есть рельеф у нас – главное и единственное действующее лицо.

Рассмотрение ведётся в рамках линейной теории упругости. Основное внимание уделено двумерной задаче. Это связано с тем, что рельеф, как правило, имеет линейно-протяжённую структуру (разломы, цепи холмов, речные русла). С другой стороны, решить двумерную задачу проще, поскольку её можно свести к краевой задаче теории функций комплексного переменного [4, 5]. Именно этот математический аппарат (метод Колосова–Мусхелишвили) использован в данной работе.

Пусть D – (нижняя) полуплоскость с рельефом, ∂D – линия, ограничивающая её сверху, то есть собственно рельеф. Пусть линия ∂D имеет не более конечного числа угловых точек, а у бесконечных ветвей ∂D есть общая горизонтальная асимптота. Совместим с ней ось абсцисс; ось y направим вертикально вверх. Назовём рельеф финитным, если в добавление к сказанному интеграл

$$S = \int_{-\infty}^{\infty} y(x) dx$$

абсолютно сходится (площадь области, ограниченной линией ∂D и асимптотой к ней, конечна). В работе показано, что S – единственный геометрический параметр, от которого зависят барические наклоны в дальней от активной части финитного рельефа зоне.

Обозначим через $v(x)$ вертикальную компоненту смещения точки на границе ∂D . Основной результат работы – асимптотическая формула для наклонов $\partial v / \partial x$:

$$\frac{\partial v}{\partial x} = -\frac{\lambda + 2\mu}{\mu(\lambda + \mu)} \frac{\rho g S}{2\pi x} + o(1/|x|).$$

Здесь λ и μ – коэффициенты Ламе (модуль сжатия и модуль сдвига) земной коры; ρ – плотность воздуха вблизи поверхности Земли; g – ускорение силы тяжести. Изменение наклона вследствие равновесных вариаций барического поля

$$\delta \frac{\partial v}{\partial x} \sim -\frac{\lambda + 2\mu}{\mu(\lambda + \mu)} \frac{\delta \rho g S}{2\pi x}, \quad (1)$$

где $\delta \rho$ – вариация плотности воздуха.

О порядках величин: если интересующий нас участок земной поверхности оказался в центре сначала циклона, затем – антициклона,

$$|\delta \rho| \sim 0.1 \text{ кг/м}^3, \quad (2)$$

что соответствует перепаду атмосферного давления ~ 80 мбар. Средние значения упругих модулей земной коры

$$\lambda = \mu = 3 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2. \quad (3)$$

Рассмотрим пример. Пусть область D – протяжённый карьер (траншея, русло реки) сечением $100 \text{ м} \times 100 \text{ м}$, см. рис. 1. Тогда $S = -10^4 \text{ м}^2$. С помощью (1), оценим вариацию барического наклона на расстоянии $x = 1000 \text{ м}$ от карьера. С учётом (2) и (3):

$$\delta \frac{\partial v}{\partial x} \sim 10^{-10} \text{ рад}.$$

Это – величина порядка точности, присущей современным наклономерам. Но значения упругих модулей (3) характерны для консолидированной среды с преобладанием гранита и базальта. Там, где преобладают осадочные породы, модули на полпорядка меньше [1]. Кроме того, речь идёт о дальней зоне; максимальное значение вариации наклона, очевидно, в несколько раз больше. Следовательно, эффект от равновесной вариации давления при данной геометрии рельефа вполне может составить $\sim 10^{-9}$ рад, а это доступная измерению величина.

Для сравнения: амплитуда основной полусуточной приливной волны на широте Москвы – величина порядка $5 \cdot 10^{-8}$ рад; амплитуды суточных волн примерно в 2 раза меньше.

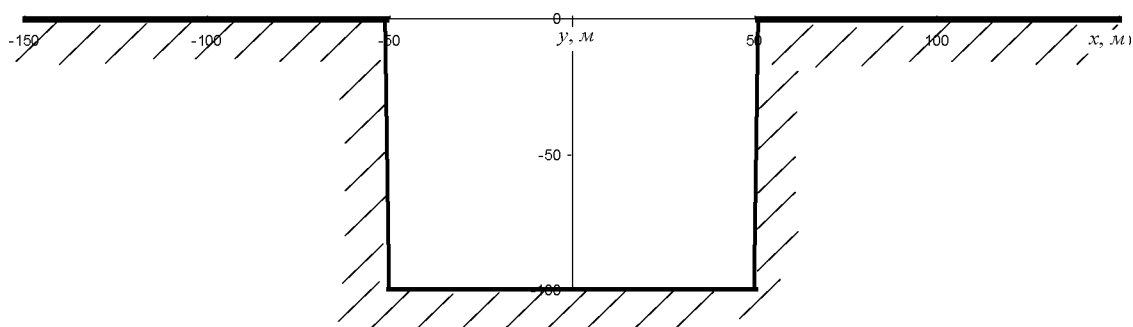


Рис. 1. Пример финитного рельефа. Карьер, протяжённый в направлении перпендикулярном плоскости рисунка

Литература

1. Darwin G.H. XLVI. On variations in the vertical due to elasticity of the earth's surface // Phil. Mag. 1882. S. 5. V. 14, N 90. P. 409–427.
2. Латынина Л.А., Васильев И.М. Деформация земной коры под влиянием атмосферного давления // Физика Земли. 2001. № 5. С. 45–54.
3. Перцев Б.П., Ковалёва О.В. Оценка влияния колебаний атмосферного давления на наклоны и линейные деформации земной поверхности // Физика Земли. 2004. № 8. С. 79–81.

4. Мухелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. М.: Наука, 1966. 707 с.
5. Партон В.З. Перлин П.И. Математический аппарат теории упругости. М.: Наука, 1981. 688 с. С. 362–446.

УДК 552.6; 52-35

Определение параметров мелких метеорных тел

В.В. Ефремов^{1,2}, О.П. Попова¹, Д.О. Глазачев¹, А.П. Карташова³

¹Институт динамики геосфер РАН

²Московский физико-технический институт (государственный университет)

³Институт астрономии РАН

Введение

Метеорные тела, наряду с астероидами и кометами, несут важную информацию о нашей Солнечной системе, поскольку материал, из которого они состоят, свидетельствует о составе вещества в ранние этапы эволюции Солнечной системы. Большая часть этих тел не достигает поверхности Земли и не становится метеоритами. Метеорное тело, вошедшее в атмосферу, приводит к появлению свечения, ионизации и звуковых волн. Анализ динамики (торможение, разрушение) и излучения (светимость, спектр) дает возможность получить информацию о составе метеорного вещества и свойствах метеорного тела. Фактически, атмосфера является детектором, позволяющим изучать свойства метеорных тел. Изучение метеоров позволяет косвенно изучать астероиды и кометы, что является хорошим дополнением к методам космическим миссий.

Наблюдения метеоров

В данной работе использовались данные наблюдений, проводимых в Звенигородской обсерватории Института астрономии Российской академии наук (ЗО ИНАСАН) и геофизической обсерватории Михнево (ГФО Михнево) [1]. Пункты наблюдений располагаются на расстоянии 104 км. Для наблюдений используются широкоугольные (поле зрения $50^\circ \times 40^\circ$) телевизионные метеорные установки (состоящие из камер Watec LCL-902H Ultimate и объективов Computar 6/0.8), установленные неподвижно относительно сторон горизонта поля зрения. Предел звездной величины для метеоров (в безлунную ночь) $+4.5^m$. Максимальная область перекрытия камер располагается на высоте 100 км. Кроме того, для анализа использовались данные базисных наблюдений, полученные Канадской автоматизированной метеорной обсерваторией (The Canadian Automated Meteor Observatory, (CAMO)). Там расстояние между пунктами наблюдений составляет 45 км, на каждом пункте установлены две камеры: одна с широким полем зрения 28° , другая с узким 1.5° . Широкоугольная камера используется для получения траектории, кривых светимости и торможения метеоров, а камера с узким полем зрения – для анализа морфологии метеора в полете. Предел звездной величины (по метеорам) у широкоугольной камеры составляет $+5^m$, у узкопольной $+10^m$ [2].

Модели абляции

Для оценки параметров метеорных тел (массы, плотности и др.) по наблюдательным данным используются модели абляции [3, 4]. Для определения параметров метеорных тел, использовался следующий подход. Для некоторых тестовых параметров: размера и плотности метеора, используя разные модели взаимодействия метеорного вещества с атмосферой Земли, оценивалась кривая интенсивности для наблюдаемой скорости и угла входа (т. к. эти параметры известны из наблюдений). Далее находились такие тестовые параметры метеора, которые давали максимально похожую кривую интенсивности на наблюдения.

Хотя моделирование процесса абляции позволяет оценить свойства метеора на основе данных наблюдений, определяемые параметры зависят от выбранной модели абляции и от используемых коэффициентов, которые в свою очередь связаны со свойствами материала и характера течения вокруг метеороида.

Существуют две наиболее распространенные модели, описывающие взаимодействия метеора с атмосферой. Будем называть их модель А и модель Б. Для модели А предполагается, что весь тепловой поток от набегающего потока газа расходуется на испарение материала поверхности. Для модели Б предполагается, что набегающий поток расходуется на излучение, нагрев и испарение метеорного тела.