

Е. И. ПАТАЛАХА, И. Г. РАДЧЕНКО

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ЭФФЕКТА АРТЮШКОВА И ТЕКТОГЕНЕЗ

(Представлено академиком М. А. Садовским 23 X 1972)

Одной из важнейших и, пожалуй, наиболее острых проблем тектоники была и остается проблема природы и ориентировки сил, стимулирующих развитие тектонических структур земной коры. Интерес к этой проблеме особенно возрос в связи с достижениями океанологических исследований в глобальном масштабе.

В настоящей заметке мы остановимся лишь на одном принципиально новом и перспективном, на наш взгляд, явлении, недавно обоснованном

теоретически Е. В. Артюшковым⁽¹⁾ и названном нами по имени этого исследователя. Суть явления состоит в том, что в слое переменной мощности, находящемся в изостатически уравновешенном состоянии, должны возникать добавочные по сравнению с изотропным распределением горизонтальные напряжения: растягивающие — в утолщенных участках и сжимающие — в утонченных. Е. В. Артюшковым исследовался слой переменной мощности h и плотности ρ_1 , плавающий на жидкости с плотностью ρ_2 . Прообраз слоя —

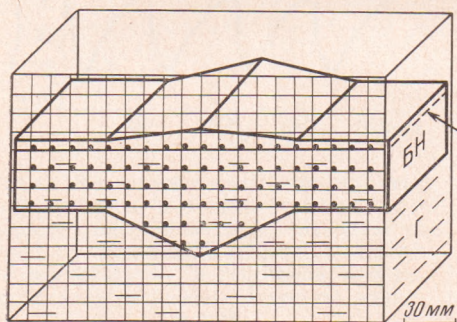


Рис. 1. Схема эксперимента по проверке эффекта Артюшкова. Стрелкой отмечен уровень глицерина

литосфера, а жидкости — верхняя мантия (астеносфера). Реологические свойства слоя не конкретизировались. Было получено общее решение, выраженное формулой

$$\sigma = \frac{\rho_1(\rho_2 - \rho_1)g}{2\rho_2} \frac{h^2 - h_0^2}{h} + \frac{\Sigma_0}{h}, \quad (1)$$

где σ — разность ($\sigma_{xx} - \sigma_{zz}$) горизонтально и вертикальной компонент напряжений, возникающая в изостатически уравновешенном слое переменной мощности; h_0 — мощность невозмущенного слоя; h — мощность возмущенного слоя; g — ускорение силы тяжести; $\Sigma_0 = \sigma_0 h_0$, где σ_0 — значение σ в области $h = h_0$.

Задача авторов сводилась к проверке достоверности установленного явления с помощью эксперимента. Наш эксперимент состоял в следующем. В прямоугольную прозрачную ванну, наполненную глицерином (Г), помещался слой переменной мощности, состоящий из сплава битум + нигрол (БН) в весовом соотношении 3:1. Плавающий слой представлял собой прямоугольный брусок (по габаритам ванны) с утолщенной средней частью (рис. 1). Во избежание деформации изгиба слоя первоначальная форма и пропорции его были выбраны таким образом, чтобы при погружении в глицерин он был изостатически уравновешен. Для контроля за соблюдением этого условия на его длинной боковой стороне была нане-

сена линия на уровне зеркала жидкости. Двумя короткими торцами слой упирался в стенки ванны, а две длинные боковые поверхности, параллельно которым происходило течение материала, образовывали небольшие зазоры (2 мм) со стенками. На одной из длинных боковых поверхностей слоя были нанесены точечные метки. Измерение скорости перемещений этих меток в процессе течения слоя производилось с помощью координатной сетки квадратов, нанесенной на боковую сторону ванны.

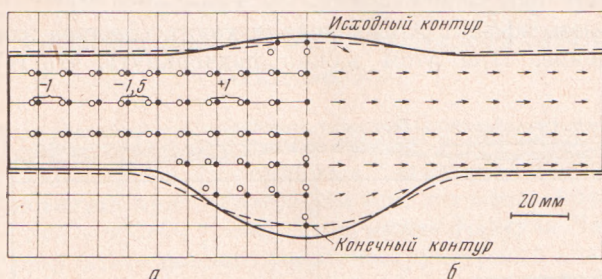


Рис. 2. Течение изостатически уравновешенного слоя переменной мощности в эксперименте. а — перемещение точек в процессе течения слоя; темные кружки — исходное положение точек, светлые — конечное. Цифрами показан размер абсолютного укорочения (минус) и удлинения (плюс) расстояний между точками. б — схема перетекания материала в разных частях слоя

Было поставлено несколько опытов. В результате, как того и требует вывод Е. В. Артюшкова, установлено расходящееся течение (растяжение) в утолщенной части слоя и сходящееся (сжатие) — в утоненной (рис. 2).

Для проверки численной сходимости теоретических и экспериментальных результатов воспользуемся следующими соображениями. В нашем эксперименте, моделирующем реальный пример, рассмотренный в ⁽¹⁾, $\rho_1 = 0,99 \text{ г/см}^3$; $\rho_2 = 1,2 \text{ г/см}^3$; $h_0 = 4 \text{ см}$; $h_{\max} = 6,7 \text{ см}$, $g = 0,98 \cdot 10^3 \text{ см/сек}^2$. Если подставить эти значения в (1), то, пренебрегая величиной Σ_0 , получим $\sigma_{\max} \approx 370 \text{ дн/см}^2$. Однако, так как в продольном направлении слой ограничен стенками, то растекание утолщенной ($h > h_0$) части слоя должно привести к его добавочному сжатию в области, где мощность постоянна ($h = h_0$). Поэтому $\sigma \neq 0$ при $h = h_0$. Из (1) при этом следует, что $\Sigma_0 \neq 0$. В таком случае $\sigma_{\max}$ должно быть несколько меньше указанной выше величины. В описываемом эксперименте горизонтальные размеры области с постоянной мощностью слоя и области с повышенной мощностью равны. Поэтому добавочное сжимающее напряжение σ_0 в области $h = h_0$ должно быть того же порядка, что и $\sigma_{\max}$, но в несколько раз меньше по абсолютной величине, так как σ_0 определяется не максимальной, а средней скоростью растекания части слоя с повышенной мощностью. Отсюда $\sigma_0 \sim -100 \text{ дн/см}^2$, а $\sigma_{\max} \sim 300 \text{ дн/см}^2$. При этом средние добавочные напряжения в области с повышенной мощностью слоя будут $\sigma \sim 100 \text{ дн/см}^2$. Таким образом, для основной части слоя характерны абсолютные значения добавочных напряжений $|\sigma| \sim 10^2 \text{ дн/см}^2$.

Для того чтобы оценить реальные горизонтальные напряжения в эксперименте, достаточно знать вязкость слоя ($\eta \simeq 2 \cdot 10^6 \text{ пз}$) и скорость деформации растяжения — сжатия. Длительность эксперимента 3 часа, величина абсолютного удлинения — укорочения расстояний между точками порядка 1—1,5 мм при длине их 10 мм. Отсюда скорость деформации $\dot{\epsilon} \sim 10^{-5} \text{ сек}^{-1}$.

$$\sigma = 4\eta\dot{\epsilon} \simeq 4 \cdot 2 \cdot 10^6 \text{ пз} \cdot 10^{-5} \text{ сек}^{-1} = 80 \text{ дн/см}^2. \quad (2)$$

Это значение напряжения близко к рассчитанному теоретически.

Для доказательства структурообразующей роли горизонтального сжатия — растяжения на верхнюю поверхность слоя приклеплялась папиросная бумага, разрезанная на полоски в утолщенной области слоя. В результате самопроизвольного течения модели в области пониженной мощности слоя (сжатие) возникла отчетливо выраженная складчатость, тогда как в области повышенной мощности (растяжение) разрезанные полоски бумаги, примкнутые в исходном положении, отделились одна от другой, образовав прекрасно различимые зазоры (рис. 3).

Таким образом, эффект Артюшкова находит хорошее экспериментальное подтверждение. При этом важно подчеркнуть, что горизонтальные

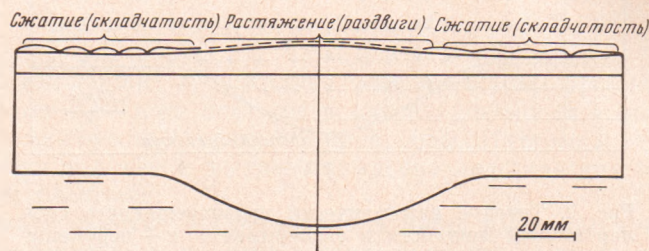


Рис. 3. Структурообразующая роль эффекта Артюшкова в эксперименте

напряжения растяжения — сжатия распределяются определенным образом по всей мощности слоя, включая центральную часть, а не только вблизи верхней и нижней поверхностей возмущений (рельефа кровли и почвы), как это кажется на первый взгляд. Природа этих напряжений проста: они возникают вследствие естественного стремления слоя переменной мощности к плоско-параллельной форме путем площадного перераспределения (перетекания) материала.

Рассматриваемое явление может оказаться принципиально важным для понимания природы тектонических процессов. Так как земная кора, особенно в геосинклинальных зонах, имеет резко изменяющуюся по латерали мощность, есть основания считать, что в утолщенных зонах (структуры антиклинорного типа) она испытывает абсолютное горизонтальное растяжение, тогда как в утоненных (синклинорного типа) — сжатие. В областях сжатия возникает складчатость, надвиги и сдвиги (синклинории сдавливаются), в то время как области растяжения выражены сбросами, грабенами, раздвигами (антиклинории растягиваются). По этой же причине края континентов вследствие расплывания последних должны надвигаться на океаническое дно, которое должно испытывать сжатие и т. д. Все это в общем виде, как известно, соответствует геологическим и геофизическим данным.

Стимулом исторически непрекращающегося действия этого механизма могут быть процессы физико-химической гравитационной дифференциации вещества, протекающие в глубинах Земли и поддерживающие неравномерность мощности литосферы по латерали ⁽¹⁾. Данная схема таит в себе большие возможности истолкования самых разнообразных тектонических процессов и, в частности, рационального понимания соотношения вертикальных и горизонтальных сил. Ближайшая задача — вскрыть и конкретизировать эти возможности применительно к частным геологическим структурам, ситуациям и эпохам.

Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева
Академия наук КазССР
Алма-Ата

Поступило
11 X 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Е. В. Артюшков, ДАН, 201, № 5 (1972).