

РЕОЛОГИЯ ЛИТОСФЕРЫ И КОРЫ

Биргер Б.И.

Институт физики Земли РАН, Москва, birgerbor@mail.ru

В современных теоретических исследованиях медленных течений в мантии и литосфере обычно используется реологическая модель степенной неньютоновской жидкости. Эта модель адекватно описывает установившуюся дислокационную ползучесть, которая наблюдается в лабораторных исследованиях, проводимых при постоянном напряжении. Однако степенная модель не имеет памяти в отличие от реального материала, и применимость этой модели в случае переменных напряжений сомнительна. Кроме того, эта реологическая модель не учитывает неуставившуюся ползучесть, которая наблюдается в лабораторных исследованиях при малых деформациях, не превышающих нескольких процентов.

Для описания дислокационной ползучести горных пород автором была предложена нелинейная интегральная (имеющая память) реологическая модель. Уравнение, соответствующее этой модели, существенно упрощается для определенных типов течений. Наиболее важной характеристикой течения при такой реологии является глубина памяти (отношение переходной деформации, фиксируемой в модели, к скорости деформации, характеризующей это течение): деформации, которые существовали до момента, определяемого глубиной памяти, не влияют на напряжение в момент наблюдения. Нелинейная интегральная модель сводится к степенной модели для стационарных течений и течений, при которых характерный период изменения скорости намного превышает глубину памяти (такие течения называются квазистационарными). Для течений, вызывающих малые деформации модель сводится к линейной интегральной реологической модели, которая описывает неуставившуюся дислокационную ползучесть и приводит к закону Андраде в случае постоянного напряжения.

Показано, что течения, связанные с нестационарной конвекцией в мантии под литосферой, являются квазистационарными. Реология определяется тем механизмом, который дает минимальную эффективную вязкость. Установившаяся дислокационная ползучесть доминирует в верхней мантии, где деформации и скорости деформаций велики (в нижней мантии доминирует диффузионная ползучесть). Поскольку литосферная плита представляет собой пограничный слой, образованный мантийной конвекцией, деформации в ней малы (только в локальных регионах литосферы существуют значительные деформации, но эти регионы можно рассматривать как границы между почти недеформированными литосферными плитами). Поэтому неуставившаяся ползучесть доминирует в литосферных плитах за исключением их верхней коры, где доминируют псевдопластичность, вызванная трением в микротрещинах, и упругость.

Если считать, что литосфера имеет установившуюся ползучесть, которая описывается степенной реологической моделью, сильная зависимость эффективной вязкости от температуры исключает конвективное движение литосферных плит. Холодная, а, следовательно, очень вязкая, литосфера ведет себя как неподвижная крышка, под которой происходит мантийная конвекция. Литосферная плита может погружаться в мантию только в том случае, когда ее эффективная вязкость не слишком высока. В рамках степенной реологической модели это было бы возможно при высоких скоростях деформаций в литосферных плитах. Однако при этом велики и деформации в литосферных плитах, что противоречит тектонике плит.

Неуставившаяся ползучесть литосферных плит снижает их эффективную вязкость и приводит к их мобильности при малых деформациях, снимая несоответствие между тепловой конвекцией в мантии и тектоникой плит, имеющее место в случае степенной реологической модели литосферы. Вертикальный градиент температуры в литосфере достаточно высок, а эффективная вязкость, соответствующая неуставившейся ползучести, достаточно мала для того, чтобы вызвать мелкомасштабную конвективную неустойчивость утолщенных регионов литосферы (корней кратонов). Поскольку эффективная вязкость, соответствующая неуставившейся ползучести, зависит от частоты и стремится к бесконечности, когда частота стремится к нулю, эта конвективная неустойчивость имеет колебательный характер. Мало-амплитудные термоконвективные колебания литосферы, по мнению автора, можно рассматривать как механизм формирования осадочных бассейнов на континентальных кратонах.