К. В. Халкечев, Р. К. Халкечев (Москва, МГГУ). **Кластерная модель локализации реологической деформации поликристаллов. Зарождение ледникового оползня.**

Локализация происходит не только в поликристаллах пластических конструкционных материалов, но также ледники, являющиеся реологическим минералом, деформационные свойства которого зависят от скорости нагружения, дают многочисленные примеры сильно локализованной деформации. В вопросах устойчивости ледников на склоне общим является то, что скорость деформации концентрируется в зонах течения сдвигом, по которым происходят большие перемещения льда вниз по склону в результате течения ледника. Такой вид локализации, очевидно, соответствует началу зарождения оползня и ответственен за механизм его возникновения.

Рассмотрим трехмерную неограниченную анизотропную среду с неоднородностями в эллипсоидальных областях, плотно прилегающих друг к другу и соответствующих зернам поликристаллов. Пусть C_0 — постоянный тензор модулей упругости, равный осредненным значениям тензора модулей упругости зерна $\langle C\rangle$; C_0+C_1 — то же для эллипсоидальной неоднородности. Тогда тензор модулей упругости с неоднородностями можно представить в виде кусочно-постоянной функции $C(x)=C_0+C_1(x)$, где $x=(x_1,x_2,x_3)$ — точка среды; $C_1(x)$ — случайный тензор, постоянный в пределах каждой неоднородности.

Введем в рассматриваемую среду поля дислокационных моментов двух типов: m_1 — поле дислокационных моментов, которое приводит к изменениям модуля упругости, m_2 — поле дислокационных моментов, которое определяет пластические деформации.

Тензор полной деформации $\varepsilon(x)$ в среде с таким распределением дислокационных моментов в произвольной аффинной системе координат удовлетворяет уравнению

$$\varepsilon(x)=\varepsilon_0+\int K(R)C_0m_1(x')\,dV'+\int K(R)C_0m_2(x')\,dV', \tag{1}$$

где $K(R)=-\nabla\nabla G(x)$; ε_0 — внешнее поле деформаций; $G(x)$ — тензор Грина основной среды; $R=x-x'$; ∇ — градиент по x.

Из (1) получим уравнение для тензора скоростей деформации реологических поликристаллов

$$\dot\varepsilon+\int K(R)\Big[C_1-CTC(I+TC)^{-1}\Big]^{-1}\dot\varepsilon\,dV=\dot\varepsilon_0, \tag{2}$$

где

$$T(\dot\sigma)=\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}f_i(n_i\dot\sigma e_i)(n_i\otimes e_i+e_i\otimes n_i)(n_i\otimes e_i+e_i\otimes n_i);$$

n_i, e_i — нормаль к плоскости скольжения с номером i и направление скольжения соответственно; f_i — функция упрочнения; $\otimes$ — тензорное произведение, $\dot\sigma$ — тензор скоростей напряжений.

Решая уравнение (2), в рамках метода самосогласованного поля для тензора скоростей деформаций внутри произвольной неоднородности получим

$$\dot\varepsilon=(I+AP_1)^{-1}\langle P[I+A(P-\langle P\rangle)]^{-1}\rangle^{-1}\dot\sigma_0, \tag{3}$$

где $N=TC(TC+I)^{-1}$; $P=C(I-N)$; $P_1=P-\langle P\rangle$.

На ровном склоне ледник находится под действием напряжения растяжения, обусловленного глобальной неустойчивостью, проявлением которого является сползание ледника со склона.

Используя решение (3), путем компьютерного эксперимента получаем тензор скоростей деформаций внутри любого зерна льда в зависимости от ориентации. Причем при внешней скорости нагрузки $\dot{\sigma}_0$, равной пределу упругости при растяжении, одни зерна льда испытывают упругие деформации, другие — неупругие реологические.

Таким образом, в зависимости от ориентации каждое зерно может находиться в двух состояниях: неупругой реологической деформации или упругой деформации. Вероятность неупругого реологического деформирования определима из неоднородного поля напряжений (3). Такие зерна либо изолированы друг от друга, либо образуют группы, состоящие из ближайших соседей. Мы определим кластер [1] как группу неупругих реологически деформированных зерен, связанных с ближайшим соседом. Если вероятность неупругой реологической деформации мала, то можно ожидать, что будут присутствовать только небольшие изолированные кластеры. В противном случае неупруго реологически деформированные зерна образуют один большой кластер, который протянется от одной стороны ледника до другой и называется соединяющим кластером. Переход из состояния, не содержащего соединяющий кластер, в состояние с одним соединяющим кластером соответствует локализации реологической деформации и как следствие зарождению ледникового оползня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мандельброт Б.* Фрактальная геометрия природы. М.: Институт компьютерных исследований, 2002, 656 с.