ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

INTERNATIONAL WORKSHOP

**«Multiscale Biomechanics and Tribology
of Inorganic and Organic Systems»**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,
ПОСВЯЩЕННАЯ 50-ЛЕТИЮ ОСНОВАНИЯ
ИНСТИТУТА ХИМИИ НЕФТИ**

«Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа»

DOI: 10.17223/9785946218412/434

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ РЕЛЬЕФА СКЛАДЧАТО-НАДВИГОВЫХ ПОЯСОВ

¹Татаурова А.А., ^{1,2}Стефанов Ю.П.¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Новосибирск²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск

Одной из основных моделей нагружения среды складчато-надвиговых поясов является модель «бульдозера» [1]. Ее суть сводится к тому, что осадочная толща в виде клина, залегающая на жестком фундаменте, сжимается в результате смещения стенки в тыловой части слоя (см. рис.1). Вследствие этого происходит утолщение и изменение рельефа клина. Устойчивое состояние такой клин достигает в случае, когда сумма углов наклона дневной поверхности и фундамента достигают критической величины, определяемой теорией критического клина [1]. В этом случае деформация осадочной толщи ограничивается скольжением по плоскости срыва вдоль фундамента. Величина критического угла определяется углом внутреннего трения породы и трением на фундаменте.

Данная теория используется в многочисленных работах для оценки величины наклона рельефа. Она подтверждается физическими экспериментами [2], а также соответствует ряду геологических объектов, например, складчато-надвиговым поясам Тайвани, Барбадоса [3] и др. В то же время, ряд работ свидетельствуют о том, что в условиях нагружения по схеме модели «бульдозера» угол наклона дневной поверхности не соответствует теории критического клина [4]. В работе [4] показано, что угол наклона дневной поверхности в случае применения модели «бульдозера» для эксперимента с песком изменяется в диапазоне $\sim 10^\circ$ в зависимости от величины смещения задней стенки и превышает теоретическое значение более чем в два раза. Таким образом остаются вопросы, связанные с применимостью теории критического клина для описания формирования рельефа дневной поверхности предгорья для условий, соответствующих модели «бульдозера».

В представленной работе проведено численное моделирование деформирования клиновидного слоя при условиях нагружения, соответствующих модели «бульдозера» и выполнен сравнительный анализ полученных результатов с данными экспериментов на сыпучих средах [4] и теоретическими оценками модели [1]. Сопоставлялись параметры, характеризующие геометрию деформированного слоя. Для этого решалась задача о деформировании усеченной модели клина (см. рис.1) в упругопластической постановке. Были рассмотрены две модели: в первом случае величина базального трения (μ_b) (трения на фундаменте) была постоянной, а во втором – трение являлось функцией от интенсивности пластической деформации [5].

Рис. 1 Модель среды для используемая для численного эксперимента с граничными условиями

Согласно теории критического клина, при коэффициенте внутреннего трения и базальном трении $\mu_b=0.1$ наклон дневной поверхности должен быть равен $\alpha=3.4^\circ$. Средняя величина наклона поверхности, полученная при численном моделировании, составила $\alpha\sim 3.3^\circ$ (см. рис.2а). Однако данная теория не позволяет рассчитать наклон дневной поверхности при изменяющемся в процессе деформации трении. В этом случае можно оценить лишь верхний предел наклона дневной поверхности при максимальном значении трения. Так, при $\mu_b=0.3$ наклон будет 11° . По результатам численного моделирования было выделено два участка с разными углами наклона рельефа. В тыловой части он пологий, не более 1° , в то время как во фронтальной части, над зоной изменения трения, где наиболее интенсивно развивается необратимая деформации угол наклона составил примерно 6.2° . Полученное различие в 4.8°

является следствием понижения трения на основании в процессе деформации. Кроме того, определенный вклад в формировании рельефа вносит еще один параметр прочности – когезия.

Результаты численных расчетов для обоих рассматриваемых вариантов показали, что величина угла наклона дневной поверхности увеличивается с ростом смещения задней стенки, но спустя некоторое время достигает стабильное значение с погрешностью, не превышающей $\pm 1.5^\circ$. При постоянном трении горные структуры описываются единым наклоном рельефа. Результаты по данным физического эксперимента [4] показывают, что рост гор вследствие утолщения осадочного слоя пропорциональны корню из смещения тыловой границы умноженные на нормировочный коэффициент. Однако результаты расчетов показали более сложную зависимость роста гор от смещения в результате утолщения деформируемого слоя (см. рис.2б).

Для второго случая, когда трение снижалось с ростом необратимой деформации, выделяются участки с разным наклоном поднятия. Первый участок пологий, он формируется в тыловой части и для него характерен медленный прирост высоты, соответствующий низкому трению. Второй участок более крутой, он располагается во фронтальной части поднятия, где происходит рост гор, идет развитие процесса необратимой деформации, а в основании изменяется трение.

На рис. 2в показан график протяженности горного сооружения в зависимости от смещения боковой стенки. При постоянном трении на графиках рельефа трудно выделить связь с деформационными структурами, которые формируются в процессе деформации толщи. В то время как для модели с понижающимся трением каждая разломная структура проявляется в рельефе поверхности. Выходу каждого разлома на поверхность соответствует ступенька на графике рельефа. Такой вид рельефа согласуется с данными физических экспериментов [4], но общая форма графика плохо соответствует кривой выведенной из результатов физического эксперимента. В тоже время данные с постоянным трением более хорошо согласуются с функцией квадратичного корня от смещения. Тем не менее, полученные графики дают возможность предполагать дальнейшее развитие горных структур в зависимости от смещения границы области.

Рис.2 Изменение рельефа в зависимости от смещения боковой стенки. а) наклон рельефа; б) изменение высоты рельефа вблизи тыловой стенки; в) протяженность горного сооружения. 1 – постоянное трение; 2 – понижающиеся в процессе деформации трение.

1. Davies D., Suppe J., Dahlen F. Mechanics of fold-and-thrust belt and accretionary wedges // J. Geophys. Res. 1983. № 88(B2). С. 1153–1172.
2. Dahlen F. Critical taper model of fold-and-thrust belts and accretionary wedges // Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 1990. №18. С. 55–99.
3. Suppe J. Absolute fault and crustal strength from wedge tapers // Geology. 2007. № 35(12). С. 1127–1130.
4. Hofmann F., Rosenau M., Schreues G. Critical taper is sandbox experiments? Investigations into the differences between pushed and pulled wedge experiments International Geological Modeling Conference GeoMod 2010. URL: <http://geomod2010.fc.ul.pt/abstracts/Hofmann%20et%20al.pdf>.
5. Стефанов Ю.П., Татаурова А.А. Влияние трения и прочностных свойств среды на формирование зон локализации деформации в надвиговых структурах// Физическая мезомеханика. 2018. Т. 21. № 5. С. 46-55.