

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ В СКЛАДЧАТО-НАДВИГОВЫХ ПОЯСАХ

А.А. Татаурова

*Научный руководитель ведущий научный сотрудник Ю.П. Стефанов
Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Россия
Институт нефтегазовой геологии и геофизики, г. Новосибирск, Россия*

Целью работы является изучение особенностей напряженно-деформированного состояния складчато-надвиговых структур. Для этого необходимо знать основные закономерности, которые приводят к формированию тех или иных структур в процессе приложения нагрузки в зависимости от различных параметров среды. Процесс моделирования начинается с формулировки упрощенной задачи: используются простые геометрические модели, что позволяет отыскать наиболее важные параметры и условия.

В современном геодинамическом представлении коллизионные процессы происходят в результате столкновения континентальных плит с преобладанием больших горизонтальных деформаций, что приводит к образованию и росту горных систем или орогенов. В результате взаимодействия плит формируются характерные для этих зон структуры: краевые прогибы и складчато-надвиговые пояса. Природа и механизм их формирования остаются до конца не изученными, но являются важными для понимания геодинамических процессов и эволюции Земли. Также эти территории являются областями накопления полезных ископаемых, в том числе нефти и газа. Поэтому результаты, полученные в ходе исследования, могут быть полезны как для фундаментальной науки, так и для решения прикладных задач. Особое внимание в работе уделяется изучению распределения в пространстве структур складчато-надвиговых поясов, рассмотрению механизмов их формирования и оценке параметров, благодаря которым они формируются.

В процессе горизонтального сжатия хрупких пород может образовываться чешуйчатая система, в которой образующиеся пластины наползают друг на друга, увеличивая мощность верхней части коры. В некоторых случаях они могут частично смещаться на более прочный смежный континент, образуя надвиговой покров. При пластическом деформировании образуются складки различных типов. За счет образования этих структур происходит сокращение поверхности земной коры. Для того чтобы восстановить первоначальное строение среды, обычно используют метод сбалансированных разрезов. Однако этот метод не дает количественных оценок деформации, возникающей в складчато-надвиговом поясе. Вопрос о разработке теории, способной дать оценку деформации и объяснить природу процессов, происходящих внутри пояса, остается на сегодняшний день актуальным.

Все орогены имеют свои особенности. Для одних характерно сильное поднятие горных структур и высокая сейсмическая активность. Другие имеют низкую сейсмичность и невысокие горные сооружения. В одних случаях зоны, охваченные процессом орогенезации, узкие, в других – широкие. Можно предположить, что такое разнообразие связано со свойствами литосферы. В связи с этим изучение изменения закона прочности с глубиной является одной из первостепенных задач, так как позволяет описать реологические характеристики исследуемой среды. Именно прочность отражает, какая величина сдвигового напряжения должна быть приложена к изучаемому объекту, чтобы произошло ее деформирование и разрушение, с учетом геологических данных о скоростях подвижек.

При изучении развития дислокационных структур складчато-надвиговых поясов необходимо учесть, что омоложение разломов происходит преимущественно от внутренней части пояса к внешней [3]. Угол надвиговых пластин с горизонтом составляет порядка 30 и меньше градусов. Предполагается, что скольжение тонких пластин надвиговых структур на десятки и сотни километров обусловлено наличием природной смазки в виде воды, эвапоритов, глин, которые обладают низкой сдвиговой прочностью.

Для интерпретации надвиговых систем обычно используется модель «бульдозера» или модель критического клина (рис. 1) [1, 2]. В настоящее время она является основной для расчета различных параметров надвиговых систем. Форма надвигового клина определяется двумя параметрами: углом наклона рельефа – α , характеризующего топографию и углом наклона фундамента – β . Идея модели состоит в том, что надвиговая структура может существовать только при определенном соотношении этих двух углов. В момент, когда достигнуто критическое значение угла, клин работает как единое целое. Если углы не соответствуют необходимым значениям, то считается, что надвиговая система не может существовать. В данной работе мы отошли от представленной теории и рассмотрели возможность существования других вариантов геометрических постановок задачи.

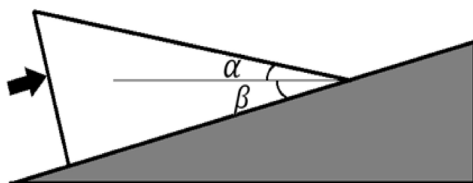


Рис. 1. Модель «бульдозера» или критического клина, объясняющая происхождение складчато-надвиговых поясов

Для проверки и уточнения сделанных гипотез широко используется численное моделирование. Такие расчеты позволяют изучить влияние каждого параметра, геометрию и свойства среды на развитие деформации.

В данной работе моделирование осуществлялось в упруго-пластической постановке, в которой для описания среды за пределом упругости использовалась модель Друккера-Прагера-Николаевского с неассоциированным законом течения [4]. Решение системы уравнений механики сплошной среды, включающей уравнения движения и неразрывности, производились с использованием явно конечно-разностной схемы.

Было рассмотрено развитие деформации складчато-надвигового пояса, геометрическая модель которого представлена в виде жесткого клина, аналога прочного континента, на который надвигается более мягкая среда в виде двухуровневого пласта. Верхний слой хрупкий, предполагается, что это осадочная толща. Нижний пластичный слой выполняет роль смазки, по которой скользит верхний слой за счет приложения боковой нагрузки с левой границы, при этом правая граница считалась неподвижной (рис. 2). Формирующаяся зона локализации могут быть интерпретированы, как зоны разломов.

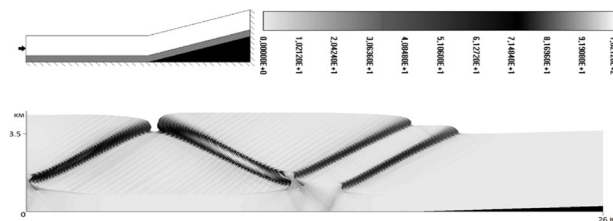


Рис. 2. Схематическая модель начального состояния исследуемой среды и интенсивность сдвиговой пластической деформации в процентах

Были рассмотрены модели, в которых угол наклона клина составлял 2, 5 и 10 градусов. Определено, что зоны локализации пластических деформаций образуются в первую очередь на участке слоя, который не лежит на клине, что не противоречит геологическим представлениям. За счет деформирования на этом участке чаще всего формируются структуры типа рор-ур. При дальнейшем сжатии образуются дополнительные надвиговые структуры, совпадающие по направлению с падением клина. Если угол клина достигает порядка 10 градусов, то в расчетах надвиговые структуры не образовывались над ним в вышележащих слоях.

Основное влияние на развитие деформационных структур оказывают такие параметры, как угол внутреннего трения и когезия, функцией которых является закон изменения прочности с глубиной. Соотношение мощностей хрупкого и пластичного слоев, также оказывает существенное влияние на характер поведения зон локализации сдвиговых пластических деформаций.

Проведенные расчеты показали, что надвиговые структуры, наблюдаемые в складчато-надвиговых поясах, могут образовываться не только в условиях теории критического клина, но и при других геометрических условиях, рассмотренных в работе.

Литература

1. Стефанов Ю.П. Некоторые особенности численного моделирования поведения упруго-хрупкопластичных материалов // Физическая мезомеханика. – Томск, 2005. – Т. 8. – № 3. – С.129 – 142.
2. Davis D., Suppe J., Dahlen F.A. Mechanics of fold-and-thrust belts and accretionary wedges//Journal Geophysical Researh. – USA, 1983. – V. 88. – P. 1153 – 1172.
3. Dahlen F.A. Critical taper model of fold-and-thrust belt and accretionary wedges//Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences. – USA, 1990. – V.18. – P. 55 – 99.
4. Khudoley A.K., Prokopiev A.V. Defining the eastern boundary of the North Asian craton from structural and subsidence history studies of the Verkhoyansk fold-and-thrust belt//The Geological Society of America Special. – USA, 2007. – Paper 433. – P. 391 – 410.