

## РОЛЬ СКОРОСТИ ДЕФОРМАЦИИ В МОДЕЛИ ОДНООСНОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО СЖАТИЯ С ИЗГИБОМ БЛОКА ВЕРХНЕЙ КОРЫ

© 2002 г. А. Ю. Кисин, академик В. А. Коротеев, В. Н. Сазонов

Поступило 09.01.2002 г.

Ранее нами [1] предложена модель формирования геологических структур коллизионного этапа, описаны ее основные элементы и показан принцип работы. Модель имеет множество вариаций в зависимости от изменения параметров системы, к которым можно отнести мощность деформируемого слоя, его состав, время и скорость деформации изгиба. Последний фактор представляется наиболее важным и ему посвящено настоящее сообщение.

Для конечных результатов реализации модели крайне важно соотношение объемов пород, подверженных хрупким и пластическим деформациям. В теории сопромата полагается, что нейтральная зона при продольном изгибе совпадает с осью центра тяжести сечения. Применительно к нашей модели ряд факторов ставят под сомнение данное положение. Прежде всего – это масштабы: мощность деформируемой верхней коры 15–20 км; экспериментально системы таких масштабов совершенно не изучены; силы гравитации здесь так велики, что игнорировать их нельзя; сплошность коры, при ее естественной трещиноватости и неоднородности, вероятно, больше обеспечивается силами гравитации, чем физикомеханическими свойствами слагающих ее горных пород. Деформируемый слой подстилается высокопластичными породами нижней коры, по свойствам отвечающими несжимаемой жидкости; иначе говоря, деформируемые породы не могут быть задавлены вниз без соответствующих компенсационных явлений, например подъем соседних участков коры. Реологические свойства пород верхней коры неоднородны. Самая верхняя ее часть характеризуется низкими температурами и литостатическим давлением, высокой хрупкостью и трещиноватостью; следовательно, сопротивление их растяжению, особенно при изгибе, будет крайне незначительным. Породы нижней части верхней коры, напротив, находятся в условиях повышенных температур и давлений. Эксперимен-

тально установлено, что при стабильных температуре и скорости деформации рост эффективно-го всестороннего давления ведет к увеличению пластичности, предела текучести, полной деформации и деформационного упрочения горных пород [2–4]. Уменьшение скорости деформации, как и рост температуры, при неизменном всестороннем давлении, ведут к повышению пластичности пород, одновременно понижая конечную прочность, предел текучести и деформационное упрочение. Ее влияние особенно эффективно проявляется при повышенных температурах. В реальной геологической обстановке скорость деформации на 4–6 порядков ниже, чем в экспериментальных условиях. Кроме того, при увеличении размеров испытываемого образца прочность последнего существенно понижается, что объясняется увеличением неоднородности материала. В свете сказанного выше можно ожидать весьма значительное увеличение пластичности пород в нижней части деформируемого слоя.

Исходя из этих соображений, считать нейтральную зону (зона смены знаков напряжения при изгибе) неподвижной в рассматриваемой модели будет неправильно. Пластичность пород зависит от скорости деформации и, следовательно, влияет на положение нейтральной зоны, которая в результате может располагаться на значительном удалении от оси центра тяжести сечения. Как будет показано ниже, данный фактор в значительной степени определяет специфику геологических процессов, объясняемых данной моделью, и обеспечивает асимметричное строение коллизионно-складчатой системы.

Рассмотрим несколько вариантов продольного изгиба земной коры в зависимости от скорости деформации.

### ПОВЫШЕННЫЕ СКОРОСТИ ДЕФОРМАЦИИ

А. Положительный изгиб. В верхней части слоя – условия растяжения, в нижней – сжатия. При прочих равных условиях сопротивление пород сжатию возрастает, и нейтральная зона смещается вниз. Усиливается скорость изгиба;

возрастает ширина и глубина грабена; облегчается перемещение разогретого пластичного материала из зоны сжатия в основание грабена; в результате стремительного падения давления интенсивно отделяются флюиды, вызывая процессы гранитизации и анатексиса, сопровождаемые низкобарическим зональным метаморфизмом, интенсивной грейзенизацией и гидротермальной проработкой окружающих пород. Формируются низкобарические гранито-сланцевые комплексы. Например, комплексы Заураловского поднятия на Урале.

**Б. Отрицательный изгиб.** В верхней части слоя возникают условия сжатия, в нижней – растяжения. Нейтральная зона смещается вверх. Зона сжатия имеет уменьшенную мощность и располагается, большей частью, в области хрупких деформаций. В результате здесь усиливается брекчирование и мегабрекчирование пород; наиболее пластичные породы сминаются в небольшие складки; горстовая структура (компенсационный клин) заменяется серией неглубоких клиньев; разогрев и метаморфизм пород редко достигает низов зеленосланцевой фации; бескорневые малые интрузии редки и незначительны либо отсутствуют. Зона растяжения имеет увеличенную мощность. Падение давления в ней и подстилающей нижней коре более значительные, что вызывает интенсивное отделение флюидов и дегазацию пород. Из нижней коры, вероятно, будут мигрировать в верхние горизонты те металлы, чья миграционная способность в газовой фазе наиболее высокая, т.е. прежде всего это ртуть и сурьма. Примером может служить Восточно-Уральский прогиб с небольшими золото-ртуть-сурьмяными месторождениями.

## НИЗКИЕ СКОРОСТИ ДЕФОРМАЦИИ

**А. Положительный изгиб.** Нейтральная зона приподнята, мощность зоны сжатия больше мощности зоны растяжения. В результате грабеновая структура проявляется слабо либо отсутствует. Скорость изгиба уменьшается. Отсутствие развитой грабеновой структуры и большая мощность зоны сжатия затрудняют подъем разогретого пластичного материала, т.е. возникает проблема пространства, что ведет к дополнительному росту давления. Вследствие высокого всестороннего давления и малых скоростей деформации породы будут пластически деформироваться уже при относительно низких температурах. Условия благоприятны и для реакций дегидратации, которые характеризуются существенным отрицательным объемным эффектом. Выделившаяся при этом вода увеличит парциальное давление флюида, который отжимается вверх, т.е. происходит осушение системы. Разогретый пластичный материал нагнетается в зону растяжения,

оказывая сильное давление снизу на породы этой зоны, что может вызвать образование поперечного изгиба. Возникает система более сложных деформаций. Вертикальные силы перемещают крупные блоки пород на верхние горизонты, а выжимаемый в межблоковое пространство пластичный материал создает латеральный градиент давлений и расталкивает блоки в стороны, по системам пологих надвигов. Этим механизмом можно объяснить шарьяжно-надвиговые структуры Тараташского блока (Южный Урал) и латеральный барический градиент, иногда превышающий литостатический [5]. Поскольку значительная часть флюидов отжата сильным стрессовым давлением, то на прогрессивном этапе система будет оставаться относительно “сухой”. Явления гранитизации и анатексиса проявятся слабо. Породы, выдавленные на верхние горизонты, могут быть представлены гнейсо-мигматитами, эклогитами, эклогитоподобными породами и амфиболитами (в зависимости от состава субстрата). Метаморфизм окружающих пород проходит при повышенных давлениях с появлением на некоторых участках глаукофановых сланцев. В результате формируются высокобарические метаморфические комплексы, сопровождающиеся многочисленными надвигами. Примерами служат гнейсово-мигматитовые комплексы Центрально-Уральского поднятия.

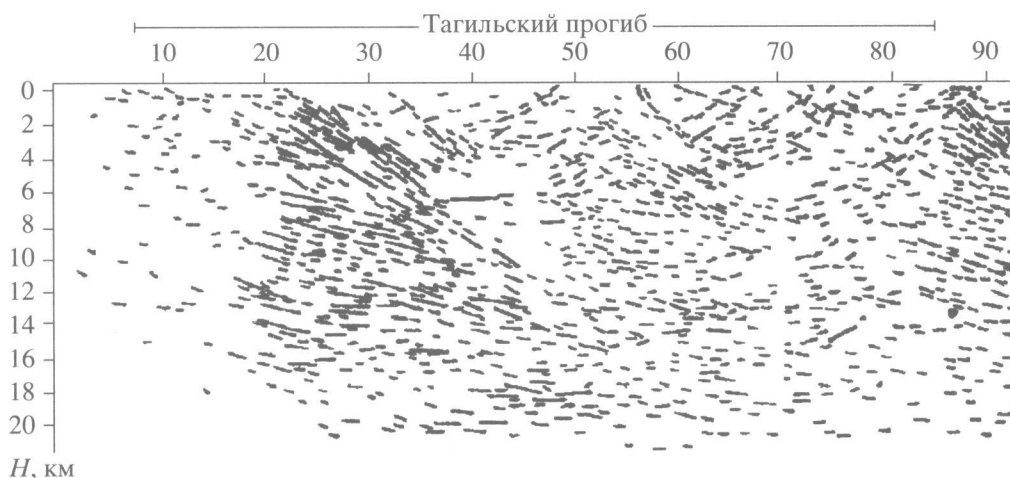
**Б. Отрицательный изгиб.** Нейтральная зона опущена и находится ниже осевой линии. Зона сжатия имеет увеличенную мощность. В результате, хорошо проявится горстовая структура, компенсирующая изгиб зоны хрупких деформаций; многофазные бескорневые малые и кольцевые интрузии представлены наибольшим количеством фаз на фоне более интенсивного зеленосланцевого метаморфизма. Зона растяжения имеет уменьшенную мощность, и падение давления здесь и в подстилающем слое слабее, что дает другой комплекс рудных элементов, например серу, хлор, цветные и черные металлы. Примером могут служить Тагильский и Магнитогорский прогибы на Урале.

На рис. 1 показана общая схема развития сопряженных продольных изгибов верхней коры. Отрицательный изгиб здесь больше соответствует пониженным скоростям деформации, а положительный – умеренным. На рис. 2 показан фрагмент сейсмического профиля МОВ, пересекающего Тагильский прогиб. Характер распределения и наклонов отражающих площадок хорошо согласуется с показанной выше схемой развития отрицательного изгиба.

Скорость деформации во многом определяет характер геологических процессов, вызываемых изгибом земной коры. Максимальные скорости деформации будут со стороны активной плиты.



**Рис. 1.** Схема развития сопряженных положительных и отрицательных изгибов верхней коры. 1 – нейтральная поверхность; 2 – зона сжатия и зеленосланцевого метаморфизма; 3 – область плавления пород; 4 – область растяжения верхней коры; 5 – область растяжения нижней коры; 6 – область сжатия и высокотемпературного метаморфизма; 7 – гнейсы; 8 – метаморфическое обрамление; 9 – анатектические граниты; 10 – интрузивные плагиограниты; 11 – бескорневые малые интрузии.



**Рис. 2.** Фрагмент Черноисточинско-Алапаевского сейсмического профиля МОВ [5], иллюстрирующего внутреннее строение отрицательного изгиба верхней коры.

На противоположной стороне деформируемого блока (за счет амортизации, трения в подошве слоя и т.п.) скорость деформации будет минимальная. Согласно предлагаемой модели, образовавшаяся коллизионно-складчатая система будет асимметрична и металлогенически зональна.

Предложенная модель позволяет объяснить некоторые геологические процессы, которые могут происходить при коллизии плит. Она показывает закономерности в расположении и развитии геологических структур, особенности в развитии некоторых магматических формаций, источник тепловой энергии и давления для метаморфических преобразований пород, позволяет наметить общие черты металлогении тех или иных структур.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Коротеев В. А., Кисин А.Ю., Сазонов В. Н. // ДАН. 1998. Т. 358. № 4. С. 508–510.
2. Гзовский М. В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. 536 с.
3. Справочник по физическим свойствам минералов и горных пород при высоких термодинамических параметрах / Под ред. М.П. Воляровича. М.: Недра, 1978. 238 с.
4. Структурная геология и тектоника плит / Под ред. К.К. Сейферта. М.: Мир, 1991. 1041 с.
5. Соколов В. Б., Силин В. А., Аверкин Ю. П., Рыбалка А. В. В сб.: Земная кора и полезные ископаемые Урала. Екатеринбург: УИФ “Наука”, 1993. С. 16–29.