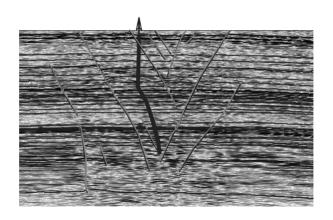
#### Раздел V

# ТЕКТОНОФИЗИКА В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ ПОИСКА И РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ



#### Динамика АЭ и свойств модельного образца при внешнем энерговоздействии

#### А.А. Авагимов, В.А. Зейгарник

Объединенный институт высоких температур РАН, г. Москва, arben@ihed.ras.ru, zeigarnik@ihed.ras.ru

Основное направление поиска по тематике вызванной сейсмичности связано с установлением параметров энерговоздействия и сейсмоакустического отклика в их взаимосвязи, как составляющих единого инициированного процесса по изменению режима деформирования [1–3]. Принципиально определение соотношения энергии триггерного воздействия с энергией, накопленной в среде не только на завершающем, но и на ранних этапах развития механической неустойчивости [4]. Подобная информация об изменении свойств модельного образца и режима деформирования составляет основу алгоритма управления режимом релаксации накопленных напряжений в среде при энерговоздействии физическими полями. Доклад представляет основные итоги анализа.

Привлечены данные экспериментов по 4 модельным образцам с различными механо-физическими свойствами и пределом прочности от 15 до  $58\times10^6$  H/m². Система обеспечивала условия постоянного нагружения, режим которого последовательно прерывался дискретным нагружением (фактически импульсным воздействием – до 16-20 циклов). Исходными для анализа были приняты расчетные средние значения энергии акустического импульса **e1** по каждому дискретному нагружению вплоть до макроразрушения образцов.

Характер эмпирического распределения амплитуд e1 акустических импульсов, на основе представленных изменений Lge1 и LgN по всем опытам, согласуется с законом повторяемости (угол наклона отношения LgN/Lge1 равен -0.7). В этой связи логику представлений о самоподобии организации структуры горных пород [5] резонно транслировать на наблюдаемые процессы и количественные оценки, полученные в проведенных экспериментах.

По распределениям e1 в зависимости от  $k_p$  установлено, что величина энергии, затраченная на генерацию единичного акустического импульса e1, по мере увеличения нагрузки до макроразрушения образца, уменьшается на два порядка величины для образцов с пределом прочности 15 и  $26 \times 10^6$  H/m², а для образцов с пределом прочности 46 и  $58 \times 10^6$  H/м² — на три. Установленная динамика e1 сопровождается последовательным накоплением потенциальной энергии после каждого дискретного нагружения, изменяя режим деформирования, вплоть до разрушения, до достижения максимального уровня копимой потенциальной энергии.

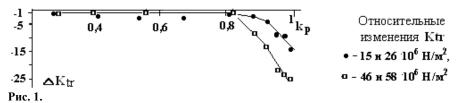
Следовательно, при «последнем» цикле, в конце процесса последовательных нагружений будет генерироваться акустический импульс e1i, после

которого начнется макроразрушение. При этом энергия, затраченная на генерацию «последнего» импульса e1i, есть энергия воздействия etr, которая инициирует разрушение. Объективно она будет разная для отличающихся модельных образцов, но она закономерно связана с уровнем накопленной потенциальной энергии  $\Pi$ , которая имеет конечную расчетную величину и определяет энергетику макроразрушения.

В этой связи рассматривается соотношение энергий равное  $K_{tr}=etr/\Pi$ , которое по данным всех образцов может быть представлено в среднем величиной  $K_{tr}=1\times10^{-7}-10^{-8}$ . Таким образом, определен порядок величины необходимой энергии триггерного воздействия относительно энергии, накопленной образцом перед разрушением.

Правомерно расширение пределов применимости  $\mathbf{K}_{tr}$  с целью определения величины энергии триггерного воздействия  $e_{tr}$  в зависимости от уровня накопленной энергии, соответствующему коэффициенту  $\mathbf{kp}$  (вычислены и представляются распределения по всем образцам). Установленное распределение соотношения  $\mathbf{K}_{tr}$  фактически означает, что для выбранного момента, увязанного с  $\mathbf{kp}$ , возможно оценить необходимый уровень энергии триггерного воздействия  $e_{tr}$  и при необходимости осуществлять детерминированное воздействие.

На рис. 1 представлены относительные изменения  $\mathbf{K}_{tr}$ . Они рельефно обозначают его изменение на разных этапах развития механической неустойчивости.



По мере увеличения потенциальной энергии и уплотнения образца величина  $\mathbf{K}_{tr}$  практически линейно уменьшается до нагрузок равных  $\mathbf{0.8-0.84}$  от разрушающих. Можно предположить, что до этих нагрузок внешнее энерговоздействие будет стимулировать процесс релаксации, понижая уровень структурных напряжений, отодвигая завершение фазы упрочнения материала. Далее, возможно после «сейсмического затишья», величина  $\mathbf{K}_{tr}$  нелинейно уменьшается до значений порядка  $\mathbf{Kt} = \mathbf{5} \times \mathbf{0^{-7}-0.5} \times \mathbf{10^{-8}}$ , когда малые дополнительные энерговоздействия индуцируют импульсную релаксацию упругой энергии, необратимо ведущую к макроразрушению. На данном участке данные позволили разделить изменения  $\mathbf{K}_{tr}$  по образцам с отличающимися механофизическими свойствами. При набдюдаемой общей тенденции более высокий уровень триггерной активации перед макроразрушением необходим для образцов с пониженным пределом прочности.

Таким образом, внешнее энерговоздействие «до» или «после» (оно триггерное в обоих случаях по определению) условно переходной зоны — зоны смены режимов, приводит к инициированию принципиально различной кинетики состояния объекта.

Известно, что накопленная энергия в очаге сейсмического события трансформируется частично в механическую энергию разрушения и далее в излучаемую сейсмоакустическую эмиссию. Если принять, как среднюю оценку, общее уменьшение энергии равным в  $10^5-10^6$  раз, то возможно определение величины триггерной активации относительно энергии инициированного сейсмического события **E** как:  $\mathbf{K}_{tr} = 1 \times 10^{-2}-10^{-3}\mathbf{E}$ . Далее при заданной энергии сейсмического события можно установить необходимый уровень  $\mathbf{e}_{tr}$ . Так, при  $\mathbf{K} = \mathbf{7}$  имеем  $e^7_{tr} = 1 \times 10^4-10^5$  Дж. Это верхняя оценка при воздействии упругим полем в завершающей фазе перед макроразрушением. При воздействии электромагнитным полем соотношение энергий с индуцированным акустическим откликом равно  $\mathbf{K}\mathbf{m}_3 = \mathbf{2.85} \times 10^{-2}$  [3]. Ранее было показано, что величины энергий вызванной сейсмичности (от электромагнитного воздействия) в локальной сейсмогенной зоне и электровоздействия сопоставимы [6].

В заключение предлагается модель разрядки накопленных напряжений на основе воздействия электромагнитным полем. Алгоритм модели включает: мониторинг фоновой сейсмичности в зоне влияния техногенного воздействия; выделение аномальных зон фоновой сейсмичности, определение их энергетического уровня; расчет энергии триггерного воздействия; схему пунктов электромагнитного воздействия и электромагнитного мониторинга аномальных зон.

- 1. Наведенная сейсмичность // М.: Наука. 1994. 222 с.
- 2. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники // М.: Наука. 2003. 270 с.
- 3. Авагимов А.А., Зейгарник В.А., Ключкин В.Н. О структуре акустической эмиссии модельных образцов при внешнем энерговоздействии // Физика Земли. 2006. № 10. С. 36-42.
- 4. Авагимов А.А., Зейгарник В.А. Оценка энергии триггерного воздействия в процессе разрушения модельного образца // Физика Земли. 2008. № 1. С. 77-80.
- 5. Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф. Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. М.: Наука. 1987. 101 с.
- 6. Авагимов А.А., Зейгарник В.А., Файнберг Э.Б. О пространственно-временной структуре сейсмичности, вызванной ЭМ воздействием // Физика Земли. 2005. № 6. С. 55-65.

# Опыт тектонофизических исследований на рудных, угольных, нефтяных месторождениях: тектонические поля напряжений, строение геодинамически опасных зон, условия проявления техногенных землетрясений

#### А.С. Батугин

Московский государственный горный университет, г. Москва, as-bat@mail.ru

Геодинамическое состояние горного массива является главнейшим фактором, определяющим эффективность и безопасность освоения недр и земной поверхности. Одним из методов изучения геодинамического состояния массива является метод геодинамического районирования [1, 2]. Метод основан на концепции иерархично-блочного строения земной коры, напряженное состояние которой определяется взаимодействием блоков. Границы блоков устанавливают на основе морфометрического анализа рельефа земной поверхности, для оценки напряженного состояния блоков предложено использовать тектонофизические методы. В рамках этого метода выполнены исследования по оценке напряженного состояния и структурного строения массива пород на более чем 50 различных объектах, включая рудные, угольные, нефтяные месторождения.

Изучение тектонических полей напряжений. При изучении тектонических полей напряжений стояли задачи оценки области применения тектонофизических методов М.В. Гзовского и др. для определения характеристик современного поля напряжений в районе месторождения и задания граничных условий для его математического моделирования. Комплексные исследования на бокситовых шахтах Урала показали, что для случаев унаследованного поля напряжений данные о тектонической нарушености содержат информацию и о современном поле напряжений. Отмечается изменение ориентировки осей главных напряжений от блока к блоку, фиксируемое как тектонофизическими, так и другими методами. Для других случаев, а также для задания граничных условий для расчетов предложено в качестве исходных данных в тектонофизических методах использовать хапространственного положения границ геодинамически активных блоков, выделяемых морфометрическим методом при геодинамическом районировании и информацию об ориентировке их векторов смещений [3]. В связи с этим развиты методы совместного анализа разрывов с установленной и неустановленной ориентацией вектора смещения, с ограниченным сектором ориентации вектора смещения, с неустановленной ориентацией вектора смещения для модели изотропной среды. Использование данного подхода позволило выявить тектонически напряженные и разгруженные зоны на угольных и нефтяных месторождениях, установить

опасные участки для ведения горных работ и благоприятные участки для размещения эксплуатационных нефтяных скважин. Строение геодинамически опасных зон. В условиях рудных и угольных месторождений изучена тектоническая выраженность в массиве границ геодинамически активных блоков I–V рангов, выделяемых методом геодинамического районирования. Установлена закономерность, заключающаяся в том, что чем выше степень геодинамической опасности участка земной коры, тем более отчетливо проявляется тектоническая выраженность границ блоков каждого из рангов в горном массиве.

Условия проявления техногенных землетрясений. Североуральское месторождение бокситов было одним из первых рудных месторождений России, на котором стали происходить удары горно-тектонического типа с подвижками блоков пород по тектоническим нарушениям и выделением сейсмической энергии более 10<sup>8</sup> Дж. Обследование очаговых зон позволило получить данные о направлении смещений крыльев тектонических нарушений при горнотектонических ударах. Если смещения по мелким дизъюнктивам были распределены хаотично и подчинялись полю напряжений, измененному ведением горных работ, то смещения по крупным региональным дизъюнктивам происходили в соответствии с современным тектоническим полем напряжений [4]. Размеры очагов горно-тектонических ударов составляли на СУБРе (1984–1986 гг) более чем 200 метров по простиранию и несколько горизонтов по восстанию; на ЮУБРе, шахта Кургазакская (1990) – не менее 300 метров; на шахте Бейпяо в КНР (1990–1992 гг) – первые сотни метров. Исследования В.А. Смирнова и др. показывают, что область подготовки горного удара на порядок превышает размеры его очага. Если принять по фактическим данным размеры очага в первые сотни метров, то размеры области L, из которой подводилась энергия для возникновения подвижки, составят уже первые километры, что соизмеримо с блоками земной коры IV ранга, участвующих в самостоятельных тектонических движениях. Это показывает, что в подвижках крыльев крупных нарушений при горнотектонических ударах реализуется процесс тектонических движений блоков земной коры и поэтому направление подвижки по сместителю увязывается с направлением тектонических сил в регионе, несмотря на влияние измененного от ведения горных работ поля напряжений, имеющего более низкий масштабный уровень [4, 5]. На примере шахты Анжерская рассмотрен механизм техногенных землетрясений при затоплении шахт, который имеет общие черты с механизмом горно-тектонических ударов и механизмом землетрясений при заполнении водохранилищ. При затоплении шахты повышающееся гидростатическое давление, предаваемое через макротрещины массива, постепенно снижает нормальное сжатие крыльев крупных дизъюнктивов, что приводит к уменьшению их механического контакта и изменению траекторий действия главных напряжений, создавая тем самым условия для роста сдвигающих сил вдоль сместителей. Под действием увеличивающихся сдвигающих напряжений и снижения нормального сжатия происходит толчкообразное смещение одного из крыльев нарушений в сторону разуплотненного пространства, нарушенного ведением горных работ с выделением сейсмической энергии [6].

- 1. Методические указания по профилактике горных ударов с учетом геодинамики месторождений. Л.: Изд. ВНИМИ. 1980. 46 с.
- 2. Петухов И.М., Батугина И.М. Геодинамика недр. М.: Недра. 1996. 217 с.
- 3. Батугин А.С. О методике реконструкции направлений главных напряжений в массиве пород // Геодинамика месторождений. Кемерово. 1991. С. 34-37.
- 4. Батугин А.С., Воинов К.А. Сравнительная оценка тектонофизического и сейсмического методов определения ориентировки главных нормальных напряжений // Совершенствование технологии сооружения горных выработок. Сб. науч. тр. Кемерово: Изд. КузПИ. 1986. С. 102-106.
- 5. Батугин А.С. К механизму проявления подвижек по сместителям нарушений при горно-тектонических ударах // Горное давление, горные удары и сдвижение массива. Сб. науч. тр. Часть І. ВНИМИ. 1994. С. 157-160.
- 6. Батугин А.С. К механизму землетрясения 25.04.97 и 27.04.97 на севере Кузбасса // ГИАБ. 2006. № 2. С. 185-189.

## Механоэлектрические преобразования при деформационных процессах в горных породах

### А.А. Беспалько $^1$ , Л.В. Яворович $^1$ , П.И. Федотов $^1$ , Е.В. Виитман $^1$ , В.А. Штирц $^2$

<sup>1</sup> – Томский политехнический университет, г. Томск, Lusi@tpu.ru

В Томском политехническом университете разрабатывается метод контроля изменений напряженно-деформированного состояния (НДС) массивов горных пород, основанный на явлении механоэлектрических преобразований [1]. Разрушительные геодинамические события, в т.ч. землетрясения, случайны во времени и пространстве. Поэтому целесообразно проводить адаптацию разрабатываемого метода в шахтах с взрывной технологией отработки рудного тела, где эти неопределенности сняты. Выявление физических основ деформационных процессов, происходящих в массиве горных пород в результате применения взрывной технологии отработки рудных тел, а также моделирование деформационных процессов на образцах горных пород в лабораторных условиях является целью настоящих исследований.

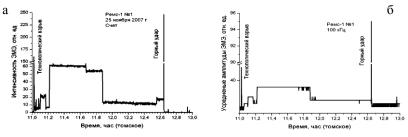
Натурные полевые наблюдения электромагнитной эмиссии (ЭМЭ), являющейся результатом механоэлектрических преобразований, проводятся в условиях Таштагольского железорудного месторождения. Шахтное поле месторождение разбито несколькими системами тектонических нарушений [2]. Кроме крупных региональных тектонических зон в районе развиты зоны повышенной трещиноватости. Трещинная тектонических проявляется многообразно. С глубиной количество крупных тектонических нарушений и трещин увеличивается. Такое достаточно сложное тектоническое строение месторождения, наряду с увеличением глубины отработки и применяемой взрывной технологией приводят к существенному перераспределению напряжений в массиве, влекущее за собой возникновение геодинамических проявлений, в том числе к горным и горно-тектоническим ударам [3], влияющих на безопасность окружающей среды, промышленных объектов и самих горных работ.

На протяжении ряда лет ведется формирование банка данных изменений параметров электромагнитной и акустической эмиссий, регистрируемых из горного массива в зоне влияния тектонических нарушений в период проведения технологических взрывов различной мощности. Полевые наблюдения механоэлектрических преобразований проводились в декабре 2007 года на Таштагольском руднике при закладке взрывчатого вещества массой 165 т, что соответствует выделенной энергии 23 МДж. Для регистрации электромагнитной эмиссии в шахтных условиях использовался разработанный в Томском политехническом университете регистратор электромагнитной и

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> – Таштагольский филиал «Евразруда», г. Таштагол Кемеровской обл.

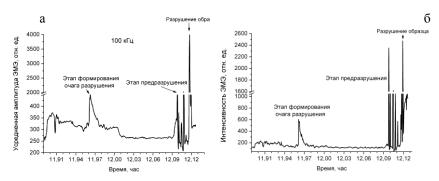
акустической эмиссий PEMC-1. Прибор обеспечивает регистрацию в реальном режиме времени интенсивности ЭМЭ, средних значений амплитуды ЭМЭ за определенный временной интервал (1 или 5 с) в полосе частот 2, 15 и 100 кГц, в широкой полосе частот 1–100 кГц, а также акустической эмиссии. В стационарном автономном режиме регистратор может непрерывно работать в течение 7 суток. Это позволяет устанавливать прибор за 1–2 суток до технологического взрыва с целью выявления фонового значения ЭМЭ, регистрировать изменения электромагнитной активности в период технологического взрыва без присутствия оператора, что особенно важно с учетом безопасности людей.

Два PEMC-1 были установлены на горизонте -280 м с южной и северной стороны от обрушаемого блока. Первый прибор стоял на расстоянии около 70 м от обрушаемого блока, второй на расстоянии около 120 м. Такое расположение регистраторов обусловлено тем, что в месте установки горные породы отличаются электрическими свойствами. В месте установки PEMC-1 № 1 массив горных пород представлен сиенитами, а в месте установки PEMC-1 №2 — магнетитовой рудой с включениями кварца. В процессе наблюдений через 97 минут после технологического взрыва зафиксировано геодинамическое событие с энергией 814 МДж. По классификации геодинамических событий такое проявление можно отнести к горным ударам.



**Рис. 1.** Изменение электромагнитной активности в период проведения технологического взрыва и последующего горного удара

Сейсмическая активность шахтного поля, в том числе пространственновременное проявление геодинамических процессов, непрерывно контролируется Таштагольской сейсмостанцией. На рис. 1 приведены изменения амплитуды ЭМЭ на частоте 100 кГц (рис. 1, б) и интенсивности ЭМЭ (рис. 1, а). На рисунке видно, что в момент технологического взрыва и горного удара резко увеличивается ЭМЭ. Причем уровень увеличения ЭМЭ в момент горного удара превышает уровень ЭМЭ, зафиксированный во время технологического взрыва. Это означает, что при горном ударе произошло выделение энергии значительно больше, чем во время технологического взрыва.



**Рис. 2.** Изменение ЭМЭ на частоте 100 кГц (а) и интенсивности ЭМЭ (б) для образца магнетитовой руды

Это подтверждается данными сейсмостанции г. Таштагола. Период формирования очага геодинамического события отчетливо выявляется по увеличению интенсивности ЭМЭ (рис. 1, а). Следует отметить, что в период максимальной интенсивности ЭМЭ частотный диапазон электромагнитных сигналов лежит в районе 100 кГц (рис. 1, б), т.к. по каналам 2 и 15 кГц эти изменения выражены слабо. Перед горным ударом наблюдается затишье. Аналогичные изменения ЭМЭ наблюдаются и при моделировании деформационных процессов на образцах горных пород в лабораторных условиях. На рис. 2 приведено изменение средней амплитуды ЭМЭ на частоте 100 кГц и интенсивности ЭМЭ, зарегистрированное при одноосном сжатии образца магнетитовой руды. На рис. 2 видно, что все основные этапы изменения напряженно-деформированного состояния магнетитовой прослеживаются по изменению параметров механоэлектрических преобразований. Таким образом, проведенные натурные и лабораторные исследования позволили сделать следующее заключение: этап формирования очага разрушения отмечается увеличением интенсивности ЭМЭ, частотный диапазон которой лежит в области близкой 100 кГц.

Работы выполняются при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 06-08-00693-а и 06-08-96911р офи)

- 1. Беспалько А.А., Яворович Л.В., Федотов П.И. Связь параметров электромагнитных сигналов с электрическими характеристиками горных пород при акустическом и квазистатическом воздействиях // Изв. ТПУ. 2005. Т. 308, № 7. С. 18-23.
- 2. Указания по безопасному ведению горных работ на месторождениях Горной Шории, склонных к горным ударам // Новокузнецк: Изд. ВостНИГРИ, ВНИМИ. 1991.93 с.
- 3. Егоров П.В., Шевелев Ю.А. Матвеев И.Ф., Скляр Н.И., Квочин В.А. Управление состоянием массива горных пород на рудниках горной Шории. Кемерово: 1999. 257 с.

# Влияние разломов на формирование локальных структур и нефтегазоносность региона на примере севера Предуральского прогиба

#### М.Г. Вахнин

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, oilkominc@mail.ru

Предуральский краевой прогиб является системой компенсационных впадин, которые возникли в каменоугольно-пермское время на стыке Восточно-Европейской платформы и Уральского сегмента Урало-Монгольского подвижного пояса. Он прослеживается вдоль складчатого Урала более чем на 2000 км, имея в среднем ширину от 25 до 80 км. В Пределах прогиба выделяются два крупных структурных этажа, отвечающих докембрийскому кристаллическому фундаменту и платформенному чехлу, сложенному образованиями рифея и палеозоя. По морфологическому признаку Предуральский прогиб разделяется на ряд поперечных поднятий и опусканий (впадины, прогибы). В Тимано-Печорскую часть Предуральского краевого прогиба входят (с севера на юг) Коротаихская впадина, Воркутское поднятие, Косью-Роговская впадина, гряда Чернышова, Большесынинская впадина, Среденпечорское поднятие, Верхнепечорская впадина, Полюдовское поднятие [1].

Особенностью Предуральского краевого прогиба является широкое распространение складчато-надвиговых зон со стороны Урала, осложненных различного типа разломами. При этом необходимо учитывать, что крупные глубинные зоны на различных этапах геологического развития могли быть сбросовыми, сдвиговыми или надвиговыми. От этого зависят закономерности формирования, развития, возможность скопления углеводородов в локальных структурах в этом районе. На изучаемой территории прогиба выявлено более 200 локальных структур и открыто более 20 месторождений нефти и газа. Большинство из этих структур связано с разломами и сформировались непосредственно вблизи от них. Особенность строения Предуральского краевого прогиба служит определенным полигоном для выявления закономерностей влияния разломов на морфологические характеристики локальных структур, их формирования и нефтегазоносность.

Был проведен анализ морфологических особенностей локальных структур, их нефтегазоносность в зависимости от типа и характера разлома, сформировавшего структуру, который обеспечил миграцию и сохранение углеводородов в ловушке. Для Предуральского краевого прогиба характерны определенные типы структур, обусловленные типичными для данного региона разломами и залежи углеводородов приуроченные к разломам. С одной стороны в районе разломов создаются зоны трещиноватости, которые способствуют миграции и накоплению углеводородов при благоприятных условиях. С другой стороны свойства осадочных пород такие, как жесткость,

прочностные свойства, коэффициенты трения зависят от флюидов и флюидодинамических процессов заполняющих эти породы. Это способствует созданию нестабильных зон и развитию разломов. Наиболее распространены в данном регионе залежи нефти и газа в сдвиговых структурах, сформированные в результате возникновения в районе разлома в условиях сжатия или растяжения сдвиговой компоненты (более 50%). Сформированные сдвигами структуры отличаются большим разнообразием, они контролируются пликативными и дизъюнктивными дислокациями. К таким зонам могут быть приурочены скопления углеводородов. Для рассматриваемой территории характерны в основном мелкие и средние месторождения нефти и газа.

Одним из вариантов сдвиговых структур являются структуры, образовавшиеся в результате надвигов. Для таких зон характерны разнообразные структуры, как в аллохтоне, так и в автохтоне, и специфика условий генерации в результате увеличенных нагрузок за счет надвиговых пластин, повышенных температур и динамических напряжений в результате надвигообразования. Определенные особенности имеет и миграция углеводородов. Еще одной особенностью для данного района является значительная вертикальная протяженность разломов. Например, на Пачгинском месторождении (Верхнепечорская впадина) вертикальная протяженность приразломных зон достигает 800 м, что позволяет образовывать особый тип «жильных ловушек». Этот малоизученный тип ловушек, сложный для обнаружения, может обеспечить значительный прирост запасов углеводородов.

Проблема поисков месторождений углеводородов для таких сложных тектонических элементов, как Предуральский краевой прогиб, становится более актуальной в связи с большей изученностью платформенных территорий [2]. Сложное тектоническое строение, осложненное различными типами разломов, предъявляет жесткие требования к структурным построениям. Знание законов формирования разломов, их развития, влияния на миграцию и аккумуляцию углеводородов, на формирование структур и морфологию может помочь эффективному поиску новых месторождений. Анализ строения Предуральского краевого прогиба, детальное изучение влияния разломов на формирование ловушек и миграцию углеводородов позволяет сделать вывод, что данный регион обладает большими потенциальными возможностями для поиска новых месторождений углеводородов.

- 1. Тимонин Н.И. Печорская плита: история геологического развития в фанерозое. Екатеринбург: Изд. УрО РАН. 1998. С. 52-56.
- 2. Шутов А. С., Острижный М. Ю., Антонов В. И. и др. Перспективы нефтегазоносности поднадвиговых зон западного склона Урала и Предуральского прогиба // Геология и минеральные ресурсы Европейского северо-востока России: Материалы XIV Геологического съезда Республики Коми. Сыктывкар: 2004. Т. 3. С. 194.

## Геодинамические модели отрабатываемых железорудных месторождений для диагностики НДС массива

#### А.И. Веселов, Т.М. Джунь

OAO «Восточный научно-исследовательский горнорудный институт», г. Новокузнецк, vostnigri@mail.ru

- 1. Геодинамические модели разработаны на основе проведенных нами НИР по геодинамическому районированию недр глубоких горизонтов Таштагольского, Шерегешевского, Абаканского месторождений для прогнозной оценки удароопасности отрабатываемых и проектируемых горизонтов.
- 2. Для создания геодинамической модели были проведены разработки двух её составных частей: блочной (геолого-геометрической) и геодинамической. Результаты разработки отражены на картах геодинамического районирования глубоких горизонтов месторождений.
- 3. Блочная (геолого-геометрическая) часть модели включает систему сбора, хранения и обработки информации данных по НДС блочного массива. В её состав входит выделение, классификация и геометризация разрывной тектоники на планах горных работ геодинамически опасных зон и разрывных нарушений, характер блочной структуры массива [1].
- 4. Геодинамическая часть модели включает информационно-аналитическую систему оценки свойств НДС горного массива под техногенным воздействием. На основе геолого-структурного и геодинамического районирования подземных горных выработок на картах выделяются опасные зоны сжатия, растяжения, сдвига оси главных напряжений, места динамических проявлений горного давления.
- 5. На основе анализа распределения динамических проявлений горного давления на картах выделены площади с различной интенсивностью деформаций, пространственной взаимосвязью динамических проявлений горного давления и разрывных нарушений [2].
- 6. Это позволяет диагностировать характер напряженно-деформированного состояния массива при ведении горных работ и их проектированию [3].

- 1. Геодинамическое районирование недр. Метод, указания. Л.: Изд. ВНИМИ. 1990. 128 с.
- 2. Шабаров А.И. Концепция геодинамического моделирования месторождений при проектировании и эксплуатации рудников // Доклад на симпозиуме «Неделя горняка». 02.02.2001. М.: Изд. МГГУ. 5 с.
- 3. Справочное пособие для служб прогноза и предотвращения горных ударов на шахтах и рудниках. М.: Недра. 1995. 238 с.

# О дизьюнктивных и инъективных дислокациях разломных структур Урало-Западно-Сибирской тектоно-магматической системы

#### А.М. Виноградов

Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, gopm@mail.ru

Существенным, если не определяющим, при изучении дизъюнктивных и инъективных дислокаций на рассматриваемой территории являются геофизические данные. Здесь в пределах Центрального сектора севера Евразии выделены четыре магматических серии последовательно сменяемые во времени, определяющие инъективные проявления в земной коре и находящие отражение в строении аномальных распределений магнитного и гравитационного полей [2]. Первая - ранне-среднепалеозойская базитовая, базитгипербазитовая серия; вторая – позднепалеозойские гранитоидные плутоны; третья – познепалеозойские-мезозойские траппы базальтов; четвертая – мезозойско-кайнозойские еще недостаточно изученные флюидо-магматические дискретные проявления различного состава. Серии объединяются в объеме Урало-Западно-Сибирской тектоно-магматической системы (ЗСТМС) двумя циклами проявления - палеозойским завершенным (первые две серии) и не завершенным – мезозойско-кайнозойским (вторые две), и объясняются связью с нижне-мантийным плюмом [1, 2]. Известная аномальная рудная и углеводородная генерации в пределах ЗСТМС с учетом теоретических разработок в области эволюции газовой фазы эндогенных флюидов и магматизма весьма вероятно взаимосвязаны (А.И. Малышев и др.). Они локализуются в рудных узлах фемической специализации, в салических блоках с соответствующей рудной специализацией и сквозной серией серно-углеводородной минерагении, наложенной на фанерозойские осадочные бассейны, формируемые вдоль Урало-Оманской ступени геопотенциала.

Проблема изучения минерагении региона с выявлением прежде всего районов с крупными месторождениями существенно связана с прослеживанием разломных структур с необходимостью их типизации и разномасштабного ранжирования. На это обратил внимание в своих ранних работах М.В. Гзовский [3]. При этом теоретические модели должны быть согласованы с фактическими наблюдениями, а в крайнем разнообразии пространственно-временных соотношений приходиться принимать модели, которые можно формализовать некоторым набором условных обозначений в принятых масштабах составляемых карт (. . . , 1:50000, 1:200000, 1: 500000, 1:1000000, . . .). Здесь невозможно обойтись без учета подобия (фрактальности) разномасштабных моделей.

В разломных структурах разных иерархических уровней организации выделяются три основных элемента: разрывы – прямолинейные границы с

признаками смещения по ним; разрывные нарушения — системы сопряженных разрывов с набором устойчивых характеристик, разграничивающих отдельные блоки; собственно разломы — линейные или дугообразные зоны упорядоченности блоковых и инъективных структур с признаками общности, отличной от общности сопряженных блоков. Из перечисленных элементов формируются структуры глобального (Урало-Оманский линеамент), регионального (Главный Уральский разлом), локального мелкомасштабного (Теренсайский разлом сопряжения Магнитогорской и Восточно-Уральской мегазон и др.), среднемасштабного (грабен — синклинальные приразломные системы и др.), крупномасштабного (клавишные горст-грабеновые системы разрывов, разрывы вулкано-купольных структур и др.) уровней.

При изучении природы разломной тектоники можно выделить три приоритетных направления и, соответственно, три исходных модели: 1 ротационная гипотеза структурообразования в модели разломных структур с такими характеристиками как прямолинейность, ортогональность, выдержанность расстояний между разрывами различного порядка (К.Ф. Тяпкин и др.); 2 – самоорганизация природных систем за счет энергии, поступающей извне с моделью иерархического распределения блоковых отдельностей вещества с некоторой статистической устойчивостью кратности размеров (М.А. Садовский и др.); 3 – гипотеза о флюидо-магматической колонне с моделью формирования магмозаполненных блоков, сосуществующих с амагматичными (И.А. Зотов и др.). Многие природные разломные структуры рассматриваемой территории описываются с учетом отмеченных гипотез. Предложенная сводная теоретическая модель [1], несмотря на кажущуюся простоту, объясняет природу многих наблюдаемых ситуаций. Из сводной модели вытекают следующие выводы, согласующиеся с известными геотектоническими положениями: 1) ярусность (слоистость) тектоносферы; 2) разделение ярусов по преобладающим размерам отдельностей; 3) структурная связь нижележащих ярусов с вышележащими; 4) наличие сквозных структур и структур экранирования; 5) множественность структурных соотношений входящих в модель элементов, достаточная для структуризации многих природных ситуаций на глобальном и региональном уровнях тектогенеза.

Приведенные фактические и теоретические положения позволяют предложить следующую модель связи глобальных и региональных структур ЗСТМС. Восходящий нижнемантийный плюм предположительно переместился за палеозойское время с севера на юг – юго–восток (в современных координатах) на расстояние порядка 1000–1500 км. С учетом строения обрамления Западно-Сибирской плиты флюидо-энергетический поток плюма находился в трех основных последовательных режимах. Раннему режиму свойственно растяжение, сопровождаемое в земной коре рифтовыми квазиспрединговыми структурами с толеитовым магматизмом. Зрелый режим характеризуется чередованием сжатия и растяжения с дифференциацией

промежуточных магматических очагов и вулканизмом островодужного типа. Эти режимы распространялись сначала по обрамлению мегазоны, а затем по направлению к её центру и вдоль концентрических структурных зон, сопровождаясь в силу перемещения плюма перескоками магмовыводящих разломов на разные уровни магмогенерации. В заключительный этап в услонарастающего сжатия первичная структура деформирована, остывающий диапир определил энергетический поток в верхнюю часть литопозднепалеозойский вызвав региональный метаморфизм сферы, формированием ареала гранитных плутонов. В условиях существенной перегеодинамического плана планеты, отмеченного проявлением траппов на границе перми и триаса, произошел раскол стабилизированной части Евразиатского континента со стороны Карского моря с образованием наложенного на рассматриваемую палеозойскую тектономагматическую систему Обского грабен-рифта. В изложенной схеме формирования ЗСТМС большое значение придается как восходящим, так и нисходящим конвенктивным потокам. В результате сформировалась тектонопара, выразившаяся в сопряженном воздымании Казахстанской части и прогибании на месте Западной Сибири. В дальнейшем сформированный в пределах последней доюрский фундамент перекрывался осадочными плитными комплексами и имели место проявления разломно-блоковой тектоники с дискретными флюидо-магматическими прорывами, связанными, вероятно, со сдвиговыми напряжениями в связи с правым поворотом Сибирской платформы [4]. Данная модель вписывается, с позиций плюм-тектоники, в планетарную геодинамическую систему планеты.

- 1. Виноградов А.М., Рапопорт М.С., Рыжий Б.П., Сериков Л.И. Положение Урала в структурах Евразии // Доклады РАН. 1999. № 4. С. 512-515.
- 2. Виноградов А.М. Структура магматических серий и глубинное строение Центрального сектора севера Евразии // Вулканизм и геодинамика: Материалы II Всероссийского симпозиума. Екатеринбург: Изд. ИГГ УрО РАН. 2003. С. 619-622.
- 3. Гзовский М.В. Основные вопросы классификации тектонических разрывов // Советская геология. 1954. № 4. С. 12-21.
- 4. Роль сдвиговой тектоники в структуре литосфер Земли и планет земной группы. Под ред. П.С. Воронова. СПб.: Наука. 1997. 591 с.

# Диагностика и контроль разрушения образцов горных пород и массивов по структуре и параметрам сигналов электромагнитного излучения

#### А.Г. Вострецов $^1$ , Г.Е. Яковицкая $^2$

В последние десятилетия наряду с методом акустической эмиссии (АЭ), интенсивно используемым для исследования горных пород при прогнозе землетрясений достаточно много внимания уделяется методу, основанному на регистрации сигналов электромагнитной эмиссии (ЭМИ). Как указано в [1] на основе статистического самоподобия процессов на различных масштабных уровнях, имеется возможность выявлять и устанавливать устойчивые закономерности в эмиссионных сигналах при нагружении образцов горных пород на различных его этапах, что может быть использовано при регистрации аналогичных процессов на другом масштабном уровне в натурных условиях, с использованием разработанных на основе лабораторного эксперимента прогнозных критериев разрушения с последующей проверкой их применимости для прогнозирования землетрясений и других катастрофических явлений. Одними из основных характеристик разрушения на основании регистрации сигналов АЭ, как известно, являются количество импульсов в единицу времени, а также амплитудные параметры сигналов [1]. Это относится и к сигналам ЭМИ.

В последнее время экспериментальные исследования на образцах горных пород выявили ряд новых закономерностей, которые предшествуют нарушению их сплошности и могут быть в дальнейшем использованы в качестве прогнозных критериев разрушения при прогнозе землетрясений и других катастрофических явлений.

В [2] обнаружен эффект возникновения периодических колебаний перед сильными землетрясениями со смещением максимумов спектров сейсмосигналов в область более низких периодов. Здесь же проведен анализ изменения сигналов АЭ в эксперименте с образцами гранита, где показано, что перед разрушением в спектре сигнала возникают низкочастотные максимумы. Автор предполагает, что этот эффект может проявляться на различном масштабном уровне.

С другой стороны, в [2] показано, что процесс разрушения (подготовки землетрясений) имеет три стадии. Развивая эту концепцию, в [3] полагается, что первая и вторая стадии характеризуются вначале равномерным возникновением трещин небольшой амплитуды в определенном объеме под действием медленно возрастающих тектонических напряжений, а затем рез-

 $<sup>^1-</sup>$  Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, vostretsov@adm.nstu.ru

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> – Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск, yge@ngs.ru

ким увеличением их количества с ростом самого размера этой области. После этого развивается процесс неустойчивой деформации, локализующийся в узкой области будущего макроразрыва, которую авторы [3] назвали стадией неустойчивости. В настоящей работе иллюстрируется это положение на другом масштабном уровне на основе результатов лабораторных экспериментов с контролем сигналов ЭМИ.

Основная цель работы заключалась в анализе условий возникновения нелинейных периодических процессов в горных породах на основании регистрации сигналов электромагнитного излучения на стадии, предшествующей нарушению сплошности горных пород. Методика экспериментальных исследований по синхронной регистрации и анализу нагружения и сигналов ЭМИ проводилась на стенде [4], включающем гидравлический пресс усилием 300 кH, датчики ЭМИ и нагрузки.

Исследованию подвергались образцы мрамора и диабаза. Исследуемый образец устанавливался между плитами пресса и нагружался с постоянной скоростью до разрушения. Для регистрации сигналов ЭМИ использовались датчики, выполненные в виде антенн конденсаторного типа с плоскими и цилиндрическими обкладками и широкополосный усилитель с полосой пропускания 3 Гц—300 кГц. Для регистрации нагрузки на образец использовался датчик силы в виде кольцевого цилиндра и усилителя постоянного тока. Вся система — пресс и система датчиков помещались в электромагнитный экран для отстройки от электромагнитных помех. Стенд включал образец, помещенный между плитами пресса, датчик ЭМИ — антенну, датчик измерения нагрузки, усилители и систему регистрации АСИ-2 (автоматизированная система измерений). Методика исследований предопределяла размещение образцов между плитами пресса и включала одноосное нагружение образцов до полного их разрушения, которое определялось падением нагрузки (потерей несущей способности образца).

Датчики ЭМИ – антенны размещались вблизи образца на расстоянии 1–5 мм от торцевой его части. Сигнал ЭМИ с выхода антенны передавался на усилитель, а затем на вход ПЭВМ со встроенным четырехканальным двенадцатиразрядным АЦП. В процессе эксперимента регистрировались синхронно по двум каналам сигналы ЭМИ и нагрузки, амплитуды которых на экране монитора отображались в виде отдельных кадров. Каждый кадр содержал по 2<sup>14</sup> отсчетов напряжений (амплитуд сигналов) с выходов датчиков, взятых с интервалами 2 мкс, т. е. длительность каждого кадра составляла 32.768 мс. Затем полученные кадры последовательно соединялись, и по ним строились осциллограммы и графики для кривых нагружения и эмиссионных сигналов [5].

Был проведен детальный анализ графиков-осциллограмм образцов мраморов и диабазов, в ходе которого особое внимание уделялось стадии, предшествующей нарушению сплошности горных пород.

Анализ полученных графиков-осциллограмм как для образцов мрамора, так и для диабазов показал, что на начальных стадиях нагружения сигналы ЭМИ представляют собой одиночные малоамплитудные высокочастотные импульсы со значительными периодами следования между ними. Однако при приближении момента нарушения слошности образцов происходит изменение их структуры, заключающееся в том, что в них начинают возникать низкочастотные колебания, характеризующие начало неустойчивых деформаций в горных породах. Затем эти колебания по мере приближения момента нарушения сплошности образцов трансформируются в периодические квазирезонансные колебания и что заканчивается катастрофическим событием — макроразрывом образца (или массива).

Авторам также удалось зарегистрировать аналогичные процессы, т.е. как увеличение количества импульсов ЭМИ, так и возникновение квазирезонансных процессов в структуре амплитудно-временных характеристик сигналов ЭМИ за 15 мин до катастрофического события — горного удара энергией  $2.2 \times 10^6$  Дж в подземных горных выработках Таштаголького рудника.

По мнению авторов, аналогичные процессы могут происходить в массивах горных пород землетрясениями, и такое появление в структуре сигналов ЭМИ квазирезонансных периодических колебаний может являться одним их предвестников.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проекты № № 08-01-00031 и 08-05-00025.

- 1. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Акустическая эмиссия и стадии подготовки разрушения в лабораторном эксперименте // Вулканология и сейсмология. 1999. № 4-5. С. 14-29.
- 2. Соболев Г.А. Эволюция периодических колебаний сейсмической интенсивности перед сильными землетрясениями // Физика Земли. 2003. № 11. С. 3-17.
- 3. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука. 1993. 313 с.
- 4. Яковицкая Г.Е. Электромагнитное излучение и автоколебательный процесс предразрушающего состояния горных пород // Вулканология и сейсмология. 2006. № 6. С. 44-51.
- 5. Яковицкая Г.Е. О некоторых особенностях структуры сигналов электромагнитного излучения при разрушении горных пород // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых (ФТПРПИ). 2004. № 3. С. 20-28.

### Сдвиговые разломы Сибирской платформы и кимберлитовый магматизм

#### А.С. Гладков

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, gladkov@crust.irk.ru

Как известно, структурные факторы, играют определяющую роль в локализации магматогенных месторождений полезных ископаемых. Не являются исключением в этом плане и кимберлитовые тела. Однако до настоящего времени не удавалось разработать концепции, устанавливающей связь кимберлитового магматизма и разломных структур Сибирской платформы. Причиной тому – слабая изученность разломных зон. Основная, имеющаяся на сей день, информация о них получена с помощью геофизических, либо геоморфологических методов. Результативность этих методов при изучении разломов в платформенных условиях не всегда высока. Так, для геофизических методов, остаются "невидимыми" разломы не интрудированные основной магмой, не имеющие значительных вертикальных смещений, а также перекрытые траппами. Что касается геоморфологических методов, то в условиях слабой расчлененности платформенного рельефа, выделяемые с их помощью структурные линии, трактуемые как разломы, не всегда имеют разломную природу. Недостаток структурных данных в первом случае, и их неправомерный избыток во втором нередко приводят к тому, что структурные модели, составленные разными исследователями для одних и тех же кимберлитовых тел, отличаются, а контролирующие функции приписываются разломным зонам разных направлений.

Для решения данных вопросов необходимо привлечение новых методических подходов, специально ориентированных на выявление разломных зон в условиях слабой обнаженности платформенных территорий, изучение их внутреннего строения и динамики развития. Наши исследования базировались на тектонофизическом подходе. Этот подход, разработанный в свое время М.В. Гзовским [1], в приложении к разломам, более двух последних десятков лет развивается и совершенствуется в лаборатории тектонофизики Института земной коры СО РАН. Тектонофизический подход определяет разломную зону как объемное геологическое тело, характеризующееся определенной внутренней структурой, развитие которой происходит стадийно. При этом в природе, в силу смены геодинамической обстановки, сценарий развития разлома может изменяться, прерываясь на любой из стадий (либо прекращаться, либо возобновляться, но уже с другой кинематикой). Подобные закономерности имеют ключевое значение для территории Якутской алмазоносной провинции, расположенной на Сибирской платформе. Это связано с тем, что особенности проявления разломов на различных структурных этажах платформы заметно отличаются. Наиболее зрелые их формы, соответствующие стадии магистрального сместителя, развиты преимущественно в фундаменте, длительность и интенсивность деформирования которого (на доплатформенном этапе) существенно превышают таковые для пород платформенного чехла. Разломы в пределах чехла связаны с платформенным этапом развития, для которого характерна пониженная тектоническая активность. Их формирование происходит преимущественно в результате движений по сместителям в фундаменте.

Тектонофизические исследования, выполненные в пределах основных алмазоносных районов (Мало-Ботуобинском, Далдыно-Алакитском и Накынском), позволили выявить закономерности строения разломной сети, которые необходимо учитывать при прогнозных построениях в качестве основных факторов структурного контроля кимберлитового магматизма на Сибирской платформе. Установлено, что определяющую роль в размещении кимберлитовых тел на уровне фундамента платформы играют разломы ортогональной (по отношению к странам света) ориентировки, а также узлы их пересечения. Становление кимберлитовых тел кустов и полей, а также последующее их деформирование, происходило под действием сдвиговых полей тектонических напряжений.

При этом на различных временных отрезках палеозоя и начала мезозоя по сместителям указанных направлений в фундаменте происходили знакопеременные сдвиговые движения, в результате которых в верхних слоях платформенного чехла сформировались широкие зоны внутреннее строение которых определяется наложением парагенезисов разрывных нарушений (R и R`-сколов) отвечающих как право-, так и левосдвиговым деформациям. В процессе развития, активизации и наложения разрывов различных парагенезисов формируются участки локального растяжения, к которым приурочены кимберлитовые тела и/или их кусты. Как правило, это пулл-апарт структуры и ромбовидные структуры раскрытия в узлах пересечения разрывных нарушений. На этапах, связанных с изменением поля тектонических напряжений (и, соответственно, кинематики движений по разломам фундамента), участки локализации трубок нередко оказывались в условиях локального сжатия (например, трубки Юбилейная и Айхал), с которым, как мы полагаем, связано становление заключительных фаз кимберлитов, а также деформирование кимберлитовых тел, со смещением отдельных пластин по надвигам.

Проверка полученных результатов при помощи экспериментальных работ (на моделях из бурой глины) позволила подтвердить основные черты геодинамических моделей полученных в результате тектонофизического и геолого-структурного анализа. Полученные в экспериментах разрывные сети, определяющие строение сдвиговых зон и узлов их пересечения, формирующихся в результате двух этапов знакопеременных движений, по основным своим параметрам соответствуют природным объектам. При этом экспериментальные данные позволили рассмотреть изучаемые структуры в различных масштабах. Установлена идентичность основных направлений

разрывных структур на участках локализации изученных трубок и соответствующих им элементов на моделях. Особо стоит отметить тот факт, что в узлах разломов (различного ранга) в результате синхронных сдвиговых движений образуются изометричные структуры выдавливания (поднятия) или прогибания (в зависимости от порядка движения штампов в том или ином направлении), что может отвечать некоторым особенностям характерных для строения природных кимберлитовых полей (кустов). Например – приуроченность их к приподнятому блоку фундамента или куполовидной структуре в осадочном чехле [2].

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод о господстве на Сибирской платформе в эпоху кимберлитообразования сдвиговой тектоники. В этот период большинство разломных зон, которые определяли размещение алмазоносных кимберлитовых тел активизировались как сдвиги. Проведенные исследования позволили нам впервые охарактеризовать особенности строения разрывных сетей на различных структурных этажах Сибирской платформы как единой взаимосвязанной системы и увязать этапы формирования кимберлитовых тел с этапами становления и активизации разрывной структуры платформенного чехла.

Работа выполнена при финансовой поддержке АК "АЛРОСА" (ЗАО).

- 1. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: Наука. 1975. 536 с.
- 2. Ваганов В. И. Алмазные месторождения России и мира (Основы прогнозирования). М.: ЗАО «Геоинформмарк». 2000. 371 с.

#### Строение и генезис платформенной складчатости Западной Сибири в свете новых данных о региональном проявлении горизонтальных сдвигов фундамента

#### Г.Н. Гогоненков, А.И. Тимурзиев

ОАО «Центральная геофизическая экспедиция», г. Москва, cge@cge.ru

Введение. В последнее время, благодаря внедрению технологии сейсморазведки 3D на обширной территории севера Западной Сибири (3C) ОАО «ЦГЭ» достоверно установлены и получили детальную характеристику тектонические структуры горизонтального сдвига (СГС). СГС выявлены на площадях Тимано-Печерской и Прикаспийской синеклизы и других осадочных бассейнах (ОБ) России, где строение и генезис их идентифицируют характерные кулисные зоны разломов и структуры «пальмового дерева» (Palm-Tree Structure) и «цветка» (Tulip Structure). По результатам обработки и интерпретации сейсморазведки 3D СГС выявлены на месторождении Белый Тигр (Вьетнам), где в гранитах фундамента эксплуатируется гигантская залежь нефти. В строении палеозойского чехла бассейна Иллизи (Алжирская Сахара) сейсморазведкой 3D закартирована система кулисных разломов, формирующих СГС шовных зон ТАК и GARRA TASSELIT.

Все это позволяет говорить не только о региональном для 3С, но и о глобальном характере процессов, определивших формирование в осадочном чехле ОБ горизонтальных сдвиговых деформаций земной коры. В условиях проявления сдвигового поля тектонических напряжений, разрядка их осуществлялась через формирование характерных вторичных структур разрушения над горизонтальными сдвигами фундамента в комбинации со сжатием или растяжением земной коры. В зависимости от зрелости СГС в чехле ОБ картируются различные структурные индикаторы сдвиговых деформаций от кулисно построенных складок волочения и систем ранних сколов (на ранних стадиях развития) и ортогональных им поздних трещин отрыва и сбросов (на промежуточных стадиях развития) до линейных шовных зон разрыва сплошности пород чехла (на поздних завершающих стадиях развития).

География распространения. По характерным признакам кулисного (в плане) и цветкового (в разрезе) строения разломов, СГС достоверно установлены сейсморазведкой 3D в пределах Пуровского района Надым-Тазовской синеклизы на площадях ОАО «Газпром нефть», ОАО «Роснефть-Пурнефтегаз», ОАО НК «Лукойл». Перечень площадей, прошедших обработку и интерпретацию в ОАО «ЦГЭ» (группа Комсомольских, Харампурских, Еты-Пуровских, Часельских, Вынгаяхинских и Вынгапуровских площадей, Губкинская, Русская и др.), позволяет представить географию и масштабы проявления геологического явления, вносящего принципиально новые взгляды на традиционные представления о строении и

генезисе платформенной складчатости ЗС. СГС выделены на огромной территории от южной границы Ямало-Ненецкого АО до полярных широт общей площадью более 500 тыс. км<sup>2</sup>, включающей крупнейшие залежи УВ. По результатам обобщения съемок 2D, региональных структурных построений и схем тектонического районирования, нами предполагаем распространение СГС по всей территории центральной части 3С от Широтного Приобья до арктического Заполярья. Анализ свидетельствует о проявлении СГС на телах валов, образующих линейную надпорядковую мегаструктуру СЗ простирания. Эта структура, помимо валов с доказанным работами 3D проявлением включает Новопортовский. Уренгойский, Мелвежий. Ямальский, Арктический, Бованенковско-Нурминский мегавалы, Варьеганский вал и др. поднятия, расположенные в створе этой мегаструктуры, в пределах которых предполагается развитие СГС. В региональном плане эта структурная линия выражена линией кулисного сочленения перечисленных валов к глубинному шву, связанному с Худуттейским ответвлением Колтогорско-Уренгойского рифта. Вторая линия, выраженная линией кулисного сочленения Харампурского, Русского Часельского, Тазовского и др. валов, продолжающихся на север в сторону Большехетской впадины и Енисей-Хатангского прогиба, связана с активизированными на новейшем этапе фрагментами Худосейского рифта. На юг СГС распространяются в пределах Надым-Пуровской и Васюганской НГО Ханты-Мансийского АО на структурах Варьеганского, Тагринского и Ларьеганского валов (Варьеганские, Ваньеганские, Кошильские поднятия), Бахиловского, Александровского и Междуреченского валов (Бахиловские, Хохряковские, Пермяковские, Колик-Еганские поднятия) и доходит до Нижневартовского свода (Самотлор).

Строение СГС. По данным 3D оперяющие кулисы сдвигов образуют в вертикальном сечении веер, сходящихся к фундаменту разломов. Плоскости их в проекции оси схождения фиксируют источник разрывообразования ниже кровли фундамента. СГС характеризуются проседанием сводов структур по системе сбросов в интервале от кровли фундамента до дневной поверхности. Стратиграфический диапазон, охваченный структурами вторичного обрушения сводов и формированием наложенных прогибов на телах СГС, коррелирует с интервалом вспарывания чехла оперяющими кулисами и является функцией интенсивности деформаций сдвига. В поперечном сечении СГС образуют в чехле структуры «пальмового дерева», характерные для транстенсионных сдвигов различных стадий развития. Типичные углы падения сбросов от 50-60° в верхах, до 70-80° в низах чехла. Часто сбросы являются бескорневыми, и не прослеживаются ниже чехла, еще чаще разломы фундамента затухают внутри чехла на различных глубинных срезах. По данным 2D оперяющие кулисы сдвигов фундамента на выделяются, а картируются линии субпараллельных разломов, отражающих сколовых сечений в фундаменте 3C. Картируемые сейсморазведкой 2D разломы СЗ и СВ простираний являются региональными швами горизонтальных сдвигов фундамента (в геомеханическом и кинематическом понимании), активизированными на новейшем этапе. Внутреннее строение этих швов и структурные парагенезы осложняющих их пликативных и дизъюнктивных структур не поддаются интерпретации методами сейсморазведки 2D, в связи с чем все существующие по территории 3C структурные построения, основанные на данных 2D, нельзя считать достоверными.

Деформации горных пород в зонах влияния СГС. Внутреннее строение СГС представляет зону «ряби» – фрагментарности сейсмической записи, нарушения сплошности и полной деструкции вмещающих пород. В строении структур, осложненных СГС, выявлена сложная комбинация механических деформаций пород, вызвавшие «вспарывание» чехла и вздутие пластов над сводами поднятий с последующим их обрушением и проседанием в интервале проникновения разломов. Для СГС характерно, что весь нарушенный разрез чехла деформирован единообразно по морфологии и одномоментно по времени (поздний кайнозой). По разные стороны от оси сдвига направление «вспарывания» пластов встречное, против направления сдвига. Для СГС попроявление чешуйчатых сопряженных микронадвигов, дисгармоничной складчатости и рассланцевания пород, послойного шарьирования и черепичного сдваивания разреза в зоне динамического влияния сдвигов фундамента. На микроуровне (керн) для СГС типично проявление интенсивной трещиноватости, брекчирования и текстур пластического течения пород.

Генезис платформенной складчатости. Структуроконтролирующая роль сдвигов фундамента проявляется в элементах блокового строения, соподчиненности амплитуд разломов и локальных поднятий, единовременности формирования парагенезов пликативных и дизъюнктивных структур. В соотношении региональных сдвигов фундамента и положения локальных структур отмечается строгая соподчиненность, согласно которой структуры чехла являются осложнениями на телах сдвигов фундамента по их простиранию. Часто сочленение локальных поднятий и валов с плоскостью сдвигов имеет кулисный характер. На основе анализа сейсморазведки 2D по северу ЗС системы кулисных разломов в пределах локальных структур 3-го порядка рассматриваются элементарными составными кулисами шовных зон региональных сдвигов межблоковой делимости более высокого иерархического ранга.

Особенностью и генетическим признаком сдвигов является отсутствие вертикальных перепадов на уровне кровли фундамента. Это исключает поперечный изгиб, как механизм структурообразования, и для его объяснения требуется привлечение представлений о тангенциальной природе деформаций. Генезис структур позволяет классифицировать их как складчатость продольного изгиба (тангенциального сжатия).

**Нефтегазоносность** СГС. Изучение месторождений, осложненных СГС, показало важную роль горизонтальных сдвигов фундамента на процессы

формирования залежей УВ, закономерности пространственно-ИХ стратиграфического распределения, коллекторские и экранирующие свойства горных пород. Со СГС связаны структуры растяжения земной коры, определяющие проницаемость земной коры и формирование широкого комплекса сопутствующих и обусловленных ими структурно-деформационных и флюидодинамических парагенезов нефтегазоносных структур. На примере месторождений 3C демонстрируются возможности сейсморазведки 3D в реструктурно-тектонической морфо-кинематической шении интерпретации СГС.

#### Эволюция хрупких деформаций массива пород Ньоркпахкского месторождения апатит-нефелиновых руд по результатам документации и анализа трещиноватости

#### Д.В. Жиров <sup>1</sup>, В.В. Рыбин <sup>2</sup>, А.К. Шпаченко <sup>1</sup>

 $^1-$  Геологический институт Кольский НЦ РАН, г. Aпатиты, zhirov@geoksc.apatity.ru  $^2-$  Горный институт Кольский НЦ РАН, г. Aпатиты, rybin@goi.kolasc.net.ru

Все известные апатит-нефелиновые месторождения Хибинского щелочного массива приурочены к наиболее контрастной по строению части интрузива ийолит-уртитовой дуге [1]. В настоящее время 4 рудника ОАО Апатит разрабатывают открытым и подземным способами 6 месторождений, в том числе карьером – Ньоркпахкское [2]. Для месторождения характерны интенсивная и многофазная тектоническая проработка рудных тел, вмещающих и прорывающих их пород, а также полистадийность эндогенных и экзогенных процессов, сопровождающихся минералообразованием. Весьма сложны и разнообразны по кинематике и формам проявления хрупкие деформации массива пород пострудной стадии, но при этом прямые признаки (изменение положения маркирующих элементов) смещений крыльев дизьюнктивов встречаются крайне редко. В целом массив пород Ньоркпахкского месторожхарактеризуется весьма сложным структурно-тектоническим строением и повышенной степенью трещиноватости [3].

С целью установления основных этапов и тенденций реализации напряжений в виде динамических явлений с нарушением сплошности массива пород была проведена реконструкция эволюции хрупких деформаций в пределах Ньоркпахкского карьера по результатам многопараметрической документации и анализа трещиноватости. Для каждого структурного элемента с нарушением первичной сплошности массива пород, в том числе: разлом, дизъюнктивное нарушение, трещина, дайка и жильное образование, а также линзо- или пластообразное геологическое тело пострудной стадии внедрения, - документировались (включая моду, среднее и размах) азимутальные характеристики и их изменчивость по простиранию и падению, линейные параметры в горизонтальной и вертикальной составляющей, нормальная мощность трещин и жил, характер их выполнения и минерализации, расстояние по нормали до смежных трещин в одной системе, а также признаки направленного смещения и/или деформаций. Кроме того, индексировались показатели ранга / масштаба проявления структурного элемента, его формы, геологические и структурные взаимоотношения (между собой и в комплексе) и другие параметры. Такой комплекс характеристик позволил осуществить избирательную обработку элементов и провести ретроспективную (от молодых к древним) реконструкцию хрупких деформаций, опираясь на выявленные прямые взаимоотношения и представления о том, что минерало-

образование в жилах, трещинах и других нарушениях первоначальной сплошности имеет регрессивный характер, т.е. меняется от высокотемпературных гидротермальных минералов на ранних стадиях к низкотемпературным и гипергенным на поздних.

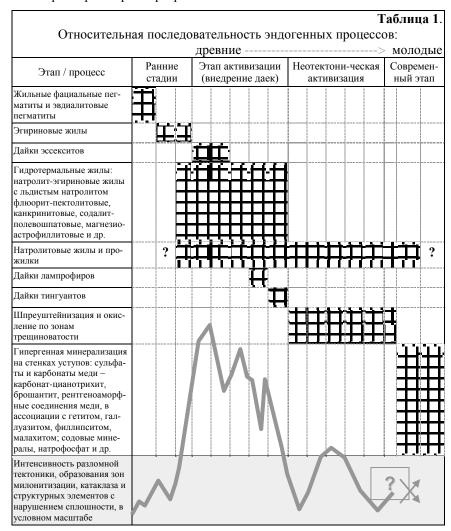
Относительная последовательность основных хрупких деформаций, эндогенных событий и стадий минералообразования, полученная по результатам исследований, отображена в таблице 1. Как видно из таблицы, эволюция хрупких деформаций массива пород изобилует разновозрастными и разнообразными по интенсивности и длительности проявления событиями, в том числе в рамках интервалов, перекрывающих и наложенных друг на друга. Это во многом объясняет то многообразие, сложность и в ряде случаев неоднозначность противоречивость геологических взаимоотношений структурных элементов, которые наблюдаются на месторождении и часто служат камнем преткновения при интерпретации. По нашему мнению, наиболее был активизации, сопровождавшийся интенсивным период последовательным внедрением даек различного состава, а также интенсивным трещинообразованием с разнообразной гидротермальной минерализацией, что наблюдается во всем объеме вмещающих пород. Менее масштабсконцентрировано вдоль нескольких неотектонический этап, обусловивший образование разломов, волнообразных зон трещиноватости с линейным и объемным окислением (шпреуштейнизацией) пород вдоль них. Некоторое увеличение интенсивности динамических явлений наблюдается также и в современное время, при этом в первом приближении устанавливается прямая корреляция с техногенной активностью.

Каждый из перечисленных этапов характеризуется оригинальным комплексом систем трещиноватости с отличными между собой морфометрическими, азимутальными и частотными параметрами. Стереометрический анализ таких выборок показал широкий диапазон изменения ориентации главных компонент критических тектонических напряжений с выполаживанием тензора максимальной компоненты от ранних к современным стадиям.

Этот вывод коррелируется с результатами инструментальных исследований методом разгрузки в субгоризонтальных скважинах, пробуренных в основании 15 и 30 метровых уступов в средней части северного борта карьера. Установлено, что в массиве пород карьера действуют субгоризонтальные тектонические напряжения с абсолютным значением максимальной компоненты тензора квазиглавных напряжений в пределах 18–33 МПа, в среднем 20 МПа, направленного вдоль простирания борта [4, 5].

Тензоры максимальной компоненты, полученные обоими методами, ориентированы в субгоризонтальной плоскости, но их азимуты различаются между собой до 60-80°. При этом измерения в скважинах, скорее всего, отражают результирующее положение главных осей современных напряжений в геомеханическом пространстве карьера, а реконструированное – исходное, без учета влияния горной выработки. Полученные данные о действующих на-

пряжениях в массиве пород имеют большое значение для определения устойчивых параметров борта карьера



Работы выполнены при поддержке гранта РФФИ № 07-05-13579-офи\_ц. и научной школы № НШ-2305. 2003.5.

- 1. Каменев Е.А. Поиски, разведка и геолого-промышленная оценка апатитовых месторождений хибинского типа (методическое руководство). Л.: Недра. 1989. 190 с.
- 2. Геология рудных районов Мурманской области / Пожиленко В.И., Гавриленко Б.В., Жиров Д.В. и Жабин С.В. / Под ред. Митрофанова Ф.П. и Бичука Н.И. Апатиты: Изд. КНЦ РАН. 2002. 359 с.
- 3. Жиров Д.В., Шпаченко А.К., Рыбин В.В., Горбунов Ю.Г. Структурные особенности массива пород Ньоркпахкского месторождения апатит-нефелиновых руд как возможные предвестники динамических явлений // Техногенная сейсмичность при горных работах: модели очагов, прогноз, профилактика. Сб. докладов межд. совещания. Ч.1. Апатиты: Изд. КНЦ РАН. 2004. С. 82-86.
- 4. Общая методология оптимизации конструкций бортов карьеров в массивах скальных тектонически-напряженных пород / А.А. Козырев, В.В. Рыбин, С.П. Решетняк, Э.В. Каспарьян, В.А. Фокин, А.Л. Билин, Д.В. Жиров, А.К. Шпаченко // Научное обеспечение развития технобиосферы Заполярья (мультимедийный информационный диск). Апатиты: Изд. КНЦ РАН. 2006. С. 161-171.
- 5. Концептуальные основы оптимизации конструкции бортов карьеров Кольского полуострова в конечном положении / Н.Н. Мельников, А.А. Козырев, С.П. Решетняк, Э.В. Каспарьян, В.В. Рыбин, И.В. Мелик-Гайказов, В.С. Свинин, А.Н. Рыжков // Тр. 8-го межд. симпозиума «Горное дело в Арктике» (под ред. Н.Н. Мельникова, С.П. Решетняка). СПб.: Изд. «Типография Иван Фёдоров». 2005. С. 2-14.

## Поля тектонических напряжений в структурах серебряных месторождений Верхоянья

#### Д.Н. Задорожный

ФГУП «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов», г. Москва, blagmet@tsnigri.ru

Структуры серебряных месторождений Верхоянья сформировались в результате коллизии Колымо-Омолонского супертеррейна с пассивной окраиной Сибирской платформы в поздней юре — неокоме [5]. Серебряные месторождения локализуются среди терригенных пород верхоянского комплекса и контролируются протяженными зонами региональных разломов. Месторождения относятся к различным формационным типам: оловосеребряные, серебро-полиметаллические, золото-серебряные и др. При этом наиболее крупные из них (Прогноз, Мангазейское) являются полиформационными и характеризуются совмещением в единых рудолокализующих структурах оруденения, принадлежащего к разным рудным формациям [1]. Это в свою очередь предполагает неоднократные подвижки вдоль рудолокализующих структур, что нашло закономерное отражение в тектонических полях напряжений.

Проведенные структурные и тектонофизические исследования показывают, что, несмотря на общую геодинамическую обстановку рудообразования, в пределах Верхоянья выделяются области с различными режимами деформирования [2].

Серебряные месторождения, расположенные пределах Верхоянского антиклинория, локализуются вдоль зон субмеридиональных разломов (Нюектаминский, Кыгылтасский), продольных по отношению к складчатости. В пределах месторождений установлена трансформация ранних соскладчатых взбросов и надвигов в структуры сдвигового типа. Основным морфологическим типом рудных тел на месторождениях являются комбинированные структуры, образованные сочетанием секущих минерализованных зон дробления и оперяющих согласных межпластовых жил кварцкарбонат-сульфидного состава. Оруденение сопровождалось телескопированием соскладчатых кварц-карбонат-сульфидных жил более поздними минеральными ассоциациями кварц-касситерит-сульфидного и полиметаллического этапов. Для руд характерны деформационно-полосчатые текстуры, обусловленные сочетанием разновозрастных минеральных ассоциаций, разделенных тектоническими подвижками сдвигового типа. Совмещение в единых рудолокализующих структурах ранних складчато-надвиговых и поздних сдвиговых деформаций не является проявлением нового тектонического этапа, а представляет собой результат структурных перестроек при прогрессирующем характере деформаций, когда на начальных стадиях формирования складчато-надвиговых структур доминировали условия "чистого" сдвига без вращения, а на последующем этапе деформаций возобладали условия "простого" сдвига с вращением. Смена режимов деформирования фиксируется в полях тектонических напряжений, изученных методами кинематического [3] и катакластического [4] анализов на примере Мангазейского месторождения.

В полях тектонических напряжений Мангазейского месторождения установлен разворот по часовой стрелке оси горизонтального сжатия с последующей ее переориентацией в субвертикальное положение. Так, за преместорождения фиксируется устойчивое близгоризонтальное сжатие. Ось растяжения разнонаправлена, падение крутое, вертикального. Ha флангах месторождения происходит переориентация оси сжатия до направления параллельного сдвиганию. Ось растяжения занимает умеренно наклонное положение и характеризуется значительной изменчивостью в направлении действия. В центральной части месторождения более устойчива ориентация оси растяжения, сохраняющей на большинстве участков пологое субширотное направление. Диапазон изменений направлений оси сжатия гораздо шире. Углы ее наклона к горизонту варьируют от 40° до 85°. Значения коэффициента Лодэ – Надаи имеют отрицательные величины в пределах от -0.1 до -0.4, что свидетельствует о преобладании условий растяжения в пределах месторождения.

Серебряные месторождения, расположенные в пределах Эльги-Адычанской зоны пологих дислокаций, контролируются разломами северо-восточного Северо-Тирехтяхский, Средне-Сартангский, Нельгесинский и др.) и северо-западного (Аллахский, Собопольский) простираний. Ко времени отложения самых ранних рудных ассоциаций складчатая структура серебряных месторождений уже консолидировалась и выступала как единое жесткое тело. Серебряное оруденение локализуется в секущих по отношению к складчатости зонах дробления кулисо-сдвигового типа, в составе которых присутствуют полистадийные рудные брекчии. По взаимоотношениям кластической и цементирующей массы установлено насеребро-полиметаллической минерализации на руды касситерит-сульфидной и золото-редкометальной формаций [1]. Неоднократрудовмещающих ные подвижки вдоль разломов сопровождались перестройкой локальных полей тектонических напряжений, которые установлены методами кинематического и катакластического анализов на примере месторождения Прогноз.

На месторождении Прогноз установлено от 2 до 4 этапов развития тектонических полей напряжений. Они по своим параметрам разнообразны и отражают неравномерное раскрытие рудолокализующих структур на ранних стадиях минералообразования. Наиболее поздний продуктивный этап серебряной минерализации характеризуется общим раскрытием рудолокализующих структур в условиях поперечного растяжения, ориенти-

рованного полого в субмеридиональном направлении. Значения коэффициента Лоде – Надаи имеют отрицательные величины, часто близкие к нулю, что соответствует обстановке чистого сдвига с незначительным растяжением.

- 1. Гамянин Г.Н. Признаки полиформационности рудных месторождений Верхояно-Колымских мезозоид. Рудогенез и металлогения Востока Азии. Якутск: 2006.
- 2. Задорожный Д.Н. Тектонофизические критерии прогноза оруденения Верхоянской сереброносной провинции: Автореф. канд. дис. геол.-минер. наук. М.: МГУ. 2002.
- 3. Гущенко О.И. Метод кинематического анализа структур разрушения при реконструкции полей тектонических напряжений. Сб. Поля напряжений и деформаций в литосфере. М.: Наука. 1979.
- 4. Ребецкий Ю.Л. Метод катакластического анализа сколов для восстановления современных и палеонапряжений. М.В. Гзовский и развитие тектонофизики. М.: Наука. 2000.
- 5. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). М.: МАИК «Наука/Интерпериодика». 2001.

#### Геофлюидодинамика Восточно-Перевального месторождения

#### **Э.Р.** Казанкова<sup>1</sup>, Н.В. Корнилова<sup>1</sup>, Р.М. Судо<sup>2</sup>

1 – Институт проблем нефти и газа РАН, г. Москва, kazankova@IPNG.ru

Сложившиеся условия поисков и разработки месторождений нефти и газа предопределили необходимость и нетрадиционный характер разработки соответствующей геодинамической базы, позволяющей получить информацию, достаточную для принятия решений и пригодную для использования при проектировании. Методологической основой проводимых исследований явконцепция. основанная на представлениях проявлениях активных флюидодинамических процессов и неустойчивого поведения во времени реальной среды. Фундаментальной основой этой концепции является признание спиралевидно-скручивающих движений масс Земли, как единого механизма самоорганизации геологического пространства. В условиях несовпадения поступательного смещения твёрдых, жидких и газообразных масс Земли с её вращением возникают разноуровневые и разномасштабные пространственно-временные структуры. Планетарные системы разломов могут рассматриваться как глобальные системы центрально-симметричных зон тангенциальных сжатий и растяжений литосферы, поднятий и опусканий, разделяемых кольцевыми деструктивными зонами.

Объекты нефтяной и газовой промышленности представляют собой природно-технические системы, характеризующиеся тесной взаимозависимостью с активной, нелинейной и изменчивой во времени геофизической средой. Подробно рассматривается геологическое строение Восточно-Перевального нефтяного месторождения, расположенного на границе Ханты-Мансийского и Ямало-Ненецкого автономных округов. В тектоническом отношении, согласно карте тектонического районирования мезозойско-кайнозойского платформенного чехла Западно-Сибирской геосинеклизы, Восточно-Перевальное месторождение расположено на западе срединной части Северо-Сургутской моноклинали (структуры I порядка) в пределах Верхненадымского вала (структуры II порядка) и приурочено к Восточно-Перевальному локальному поднятию (структуре III порядка). А.В. Щекатуровым (2002 г) на Восточно-Перевальной площади было установлено, что нижнемеловые отложения деформированы за счет смещения нижних слоев свит по отношению к вышележащим, с образованием структуры «скручивания». Фиксируется поворот антиклинальной структуры по кровлям выделенных свит, снизу вверх против часовой стрелки. По кровлям основных продуктивных горизонтов БС1 и АС9 Восточно-Перевальное поднятие характеризуется двухкупольным строением. Наиболее выраженный купол фиксируется в восточной части площади, где его амплитуда составляет

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> – НИПИ нефти и газа РАЕН, г. Mocква, romanrf@mail.ru

около 35–40 м. Западный купол менее выражен и представляет собой пологий структурный нос с амплитудой около 15 м. Ориентировка этих структур противоположна друг другу: западный структурный нос имеет, в основном, субширотное простирание, восточный – северо-западное. Размеры западного структурного осложнения  $8.0\times3.0~{\rm km}^2$ , восточного –  $14.0\times7.0~{\rm km}^2$ . Углы наклонов крыльев структуры составляют на уровне продуктивных пластов БС1 и АС9 от  $0^0$ 30′ до  $1^0$ 30′. В результате детального анализа структурной карты по кровле пласта АС9 Западного купола Восточно-Перевального нефтяного месторождения установлено, что Восточно-Перевальное поднятие сформировано в результате сдвиговых деформаций в условиях спиралевидноскручивающих движений (Судо Р.М., 2007).

Подобный механизм формирования геологических структур ранее был установлен на территории Восточно-Европейской, Сибирской платформ и других регионов (Сигачева Н.Н., Введенская Н.В.). Закономерностью этого механизма формирования геологических структур является наличие ослабленных проницаемых зон, образовавшихся на границах ротационных сдвигов (сдвигов со скручиванием), сдвиго-раздвигов, сдвиго-надвигов и других. Таким образом, отмеченные ослабленные проницаемые зоны могут быть не связаны с взбросами или сбросами. Структурная карта по кровле пласта АС<sub>9</sub> Западного купола Восточно-Перевального нефтяного месторождения в дизъюнктивно-блоковом варианте (с позиций нелинейной геодинамики) приведена на рис. 1.

314



**Рис. 1.** Схема пластово-блокового строения пласта  $AC_9$  Западного купола Восточно-Перевального нефтяного месторождения

Формирование разрывных нарушений может быть обусловлено рядом причин, причем можно предполагать, что существуют три генетические группы разрывных нарушений. Трещины первой группы, в соответствии с флюидодинамической моделью нефтегазообразования, предложенной Б.А. Соколовым и Э.А. Абля, могли образоваться за счет инъекционных прорывов разогретых флюидов в более высокие части осадочного чехла. Трещины второй группы могли сформироваться под действием гидрогеодинамических сил при внедрении в первоначально водонасыщенные отложения пласта АС9 нефти из вертикальной трещины, связанной с очагом углеводородообразования, за счет резкого увеличения пластового давления вблизи этой трещины, относящейся к первой группе. Механизм образования трещин второй группы во многом схож с процессом гидравлического разрыва пласта. И, наконец, тресформироваться могли группы ходе геологического развития данной территории.

Таким образом, Восточно-Перевальное нефтяное месторождение характеризуется пластово-блоковым строением, так как с классических позиций пластового строения, не находят объяснения многочисленные данные разносторонних исследований, проведенных на месторождении в нарушенных условиях. При разработке месторождения происходит относительно быстрое, «незакономерное» обводнение продукции добывающих скважин; «незакономерное» изменение пластового давления и минерализации добываемой воды по скважинам. Отсутствует гидродинамическая связь между соседними нагнетательными и добывающими скважинами; существуют обособленные группы скважин с общими закономерностями изменения пластового давления, обводненности добываемой продукции и минерализации добываемой воды; отрицательные эффекты от геолого-технических мероприятий.

# Моделирование процессов ползучести и разрушения материалов в решении фундаментальных и прикладных задач геомеханики

### А.М. Коврижных

Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск, amkovr@mail.ru

Разработана дилатансионная модель идеального жестко-ползучего материала, в которой необратимая деформация представляет собой результат сдвигов по октаэдрическим плоскостям, определяемым критерием Мизеса — Шлейхера, а накопление повреждений учитывается с помощью коэффициента дилатансии. Показано, что теоретические расчеты по определению длительной прочности на основе этой модели вполне удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными на различных материалах. Критерий длительной прочности Мизеса — Шлейхера имеет вид:

$$T + \beta \sigma = k(t_*), \tag{1}$$

где  $\beta$  – коэффициент внутреннего трения, k ( $t_*$ ) – характеристическая функция длительной прочности,  $\sigma = (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)/3$  — среднее нормальное напряжение, T – интенсивность касательных напряжений. Критерий длительной прочности (1) применительно к грунтам и металлическим материалам рассматривался в [1, 2]. Определяющие соотношения для плоской деформации и плоского напряженного состояний, основанные на условии Мизеса — Шлейхера и предложенные для описания процессов пластичности [3, 4] справедливы также при ползучести материала, если в качестве параметра нагружения принять текущее время t.

Применение критерия длительной прочности Кулона — Мора и теорий наследственности к моделированию процессов ползучести различных материалов, в том числе и горных пород, рассматривалось в [5-8]. Для плоской деформации в направлении у критерий длительной прочности Кулона — Мора имеет вид

$$\left[\frac{1}{4}(\sigma_x - \sigma_z) + \tau_{xz}^2\right]^{1/2} + \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2}\sin\varphi = C(t_*)\cos\varphi \tag{2}$$

где  $\varphi$  – угол внутреннего трения, независящий от  $t_*$ ,  $C(t_*)$  – характеристическая функция длительной прочности [9]. Уравнения варианта теории ползучести для условия Мизеса – Шлейхера в произвольной системе координат x, y, z имеют вид:

$$\begin{split} \dot{e}_{x} &= \left(\frac{\Lambda}{3} + \frac{s_{x}}{2T}\right) \dot{\Gamma}_{p}, \quad \dot{e}_{y} = \left(\frac{\Lambda}{3} + \frac{s_{y}}{2T}\right) \dot{\Gamma}_{p}, \quad \dot{e}_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{T} \dot{\Gamma}_{p}, \\ \dot{e}_{z} &= \left(\frac{\Lambda}{3} + \frac{s_{z}}{2T}\right) \dot{\Gamma}_{p}, \quad \dot{e}_{xz} = \frac{\tau_{xzy}}{T} \dot{\Gamma}_{p}, \quad \dot{e}_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{T} \dot{\Gamma}_{p}. \end{split}$$

$$(3)$$

В этих соотношениях  $\Lambda$  – коэффициент дилатансии,  $\dot{\Gamma}_n$  – интенсивность скорости необратимой деформации сдвига при ползучести материала. Для плоской деформации в направлении у из (3) критерий длительной прочности (1) преобразуется к виду:

$$\left[\frac{1}{4}(\sigma_x - \sigma_z) + \tau_{xz}^2\right]^{1/2} + \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2}\sin\phi = C_*(t_*)\cos\phi. \tag{4}$$

Этот критерий по виду совпадает с условием Кулона – Мора (2), но угол  $\phi$ и  $C_*(t_*)$  определяются параметрами модели Мизеса — Шлейхера (1), (3):

$$\sin \varphi = \frac{\sqrt{1 - \Lambda^2/3}}{1 - \beta \Lambda/3} \beta, \quad C_*(t_*) \cos \varphi = \frac{\sqrt{1 - \Lambda^2/3}}{1 - \beta \Lambda/3} k(t_*).$$

Если  $\beta=\varphi=0$  и кроме того  $\alpha=\Lambda=0$ , то уравнения моделей идеального жестко-ползучего тела для условий Кулона - Мора и Мизеса - Шлейхера совпадают как для напряжений, так и для скоростей. В противном случае для различных прочностных и деформационных свойств, характеризующих ползучесть, рассматриваемые модели приводят к различным результатам.

В качестве примера для плоской деформации исследуются предельные состояния в задачах ползучести о давлении плоского штампа на полуплоскость и о потере устойчивости откосов и бортов карьеров под действием различных нагрузок с применением модели идеального жестко-ползучего тела Кулона – Мора. В каждом из рассматриваемых состояний определены напряжения и время возникновения предельного состояния в условиях ползучести, т.е. время разрушения. В задаче о давлении плоского штампа на полуплоскость, при известной из критерия длительной прочности степенной зависимости с ненулевым пределом ползучести  $\sigma_0$ , имеем  $C(t_*) = \sigma_0 + \frac{A}{t_*^{-1/n}},$ 

$$C(t_*) = \sigma_0 + \frac{A}{t_*^{1/n}},$$

где A, n – характеристики материала, вычисляемые по результатам экспериментов. В этом случае можно определить время разрушения  $t_*$ :

$$t_* = \frac{A^n}{\left[qtg / \left(ctg^2(\pi/4 - /2)e^{\pi tg} - 1\right) - \sigma_0\right]^n},$$

где q — равномерное давление штампа на полуплоскость. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 08-08-00113).

### Литература

1. Зарецкий Ю.К., Городецкий С.Э. Дилатансия мерзлого грунта и построение деформационной теории ползучести // Гидротехническое строительство. 1975. № 2. C. 15-18.

- 2. Голубовский Е.Р., Подъячев А.Е. Оценка длительной прочности при сложном напряженном состоянии никелевых сплавов с поликристаллической и монокристаллической структурой // Проблемы прочности. 1991. № 6. С. 17-22.
- 3. Коврижных А.М.О жесткопластической модели деформирования и разрушения горных пород // Журнал ФТПРПИ. 2003. № 2. С. 15-29.
- 4. Коврижных А.М. Уравнения плоского напряженного состояния при условии пластичности Мизеса Шлейхера // Журнал ПМТФ. 2004. № 6. С. 144-153.
- 5. Ержанов Ж.С. Теория ползучести горных пород и ее приложения. Алма-Ата: Наука. 1964. 175 с.
- 6. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. М.: Наука. 1978. 432 с.
- 7. Качанов Л.М. Теория ползучести. М.: Государственное издательство Физикоматематической литературы. 1960. 455 с.
- 8. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций. М.: Наука. 1966. 752 с.
- 9.Коврижных А.М. О длительной прочности металлов и модели идеальной ползучести // Докл. РАН. 2007. Т. 415, № 1. С. 48-51.

# Численный эксперимент по деформированию пород в окрестности нефтеносного пласта

### А.А. Красновский, В.Е. Миренков

Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск, mirenkov@misd.nsc.ru

Рассматривается массив пород, вмещающий нефтеносный пласт, в процессе добычи. Приоритет выбора нефти и газа, как энергоносителя определяется следующими основными факторами – легкость добычи, транспортировки, малым риском при добыче, наименьшими отходами и экологическими минусами. Имеется достаточно теоретических исследований по моделированию фрагментов эксплуатации нефтяных месторождений и практическое отсутствие экспериментальных данных. Путем закачки воды в пласт вытеснялась нефть при постоянном пластовом давлении и граница раздела вода - нефть постепенно перемещалась. Простота и технологическая приемлемость процесса добычи, а также редкие случаи катастрофических осадок вмещающих пород не создавали прецедента для изучения процессов, происходящих в массиве. Если при добыче твердых полезных ископаемых теряется более тридцати процентов, то при добыче нефти определить процент сложно и при отсутствии возможности контроля он может быть даже существенно больше. Наличие в кровле пласта слоев, обладающих большой ползучестью, может сопровождаться при подработке большими касательными напряжениями, представляющими угрозу для обсадных труб, проходящих через эти слои. Такие проблемы будут существенно усиливаться при переходе к более глубокому залеганию нефтеносных пластов. В условиях малой информативности о процессах, происходящих во вмещающих нефтеносный пласт породах и самом пласте при добыче, перейдем к математическому моделированию такой ситуации.

Структура массива пород очень сложная и становится трудоемким ее детальное описание, тем более что если даже такое описание осуществимо, то взаимодействие между частями неизвестно. Возникает проблема осредненного моделирования структуры пород, и нет необходимости спускаться на уровень конкретного молекулярного строения среды. Результирующая эволюция может быть описана без подробной детализации, с использованием усредненных характеристик на основе законов феноменологической механики деформируемого твердого тела. В первом приближении примем породы почвы и кровли нефтеносного пласта в виде однородных слоев переменной мощности, разбиение которых на слои не представляет принципиальной сложности и может быть осуществлено.

Управление горным давлением при подземной добыче твердых полезных ископаемых сводится к наблюдению за поведением массива пород, расчету перераспределения напряженно-деформированного состояния в процессе ведения очистных и подготовительных работ, обеспечивая бесперебойность процесса. В модельных задачах, в которых удалось получить аналитические решения, вводился дополнительно ряд предположений: абсолютно жесткий слой, условие проскальзывания на контакте, моделирование очистной выработки математическим разрезом и ряд других, сводящихся, по существу, к рассмотрению полуплоскости. Все это необходимо и при разработке месторождений нефти, газа и ряда других нетрадиционных технологий, имеющих существенное отличие — отсутствие контролируемого очистного пространства, т.е. выработки, на контуре которой полные напряжения равны нулю, что позволяет сформулировать дополнительную задачу по расчету деформирования вмещающих пород.

В предположении, что массив пород с нефтеносным пластом собран из набора слоев постоянной и переменной мощностью, выписаны системы сингулярных интегральных уравнений, связывающих компоненты смещений и напряжений в точках границ слоев для таких случаев, единообразно и одновременно рассматриваются все три основные задачи. Сшивка таких решений для слоев пород осуществляется при условии непрерывности нормальных и касательных компонент напряжений и смещений на контакте взаимолействия их.

Предполагается экспериментально-аналитический метод прогноза состояния массива пород на основе натурных данных об изменении напряжений в нефтеносном пласте. Аналитическая часть метода состоит в получении систем уравнений для моделирования деформирования границ кусочнооднородного массива пород при отработке залежи и их реализация.

Анализ полученных систем уравнений показал, что для участков контакта пород компоненты смещений получаются как решения в квадратурах, а для точек контакта пород с нефтеносным пластом они определяются из уравнений типа Фредгольма второго рода. Такая возможность очень важна, так как сшивка решений для пород сразу исключает эти компоненты смещений из рассмотрения, и остаются искомыми две функции напряжений, для которых имеем два уравнения. Во всех остальных точках границы однородных слоев два уравнения связывают четыре функции компонент напряжений и смещений, две из которых формулируются в виде граничных условий.

Когда известны нормальные и касательные напряжения на контакте пород с нефтеносным пластом, то нет необходимости совместного решения задачи для всех взаимодействующих тел, т.е. достаточно рассмотреть их независимо. Рассмотрение нефтеносного пласта внесет дополнительную неопределенность, связанную с реальным пластом, модель которого может быть достаточно сложной.

Предлагается проводить численное моделирование последовательными приближениями. Данные о строении массива пород используются для осредмеханических характеристик вмещающих пород. известными характеристики геометрии нефтеносного пласта. В этих условиях производится расчет деформирования пород кровли в предположении различных известных условий на контакте пород кровли и почвы. Варьируются параметры задачи, и определяется их вклад в процесс деформирования, исключая из рассмотрения слабо влияющие. Если известно что-нибудь о напряженном или деформированном состоянии пород кровли, то это используется для уточнения приведенных параметров массива. Переходя к рассмотрению взаимодействия пород почвы и кровли, исследуем случай, когда вмещающие породы составлены из двух слоев, моделирующих кровлю и почву, используя, как ориентиры, известные качественные изменения свойств пород с глубиной.

На этом шаге моделирования для анализа изменения деформирования пород предполагается учитывать давление воды при вытеснении нефти, формулируя соответствующие граничные условия на части контакта с нефтеносным пластом. Без натурной информации о деформировании массива пород результаты любого расчета будут неединственны, и выбор представления о его деформированном состоянии будет неоднозначен.

Обсуждаются результаты численного счета полученных систем уравнений для рассматриваемой составной области, последовательность проведения вспомогательных расчетов, позволяющих выявить основные факторы, существенно влияющие на деформирование массива.

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного контракта № 02.515.11.5028

# Тектонофизические особенности формирования нефтегазоностных платформенных структур (взаимосвязь «сейсмических» и «геологических» моделей)

# Ю.О. Кузьмин <sup>1</sup>, А.И. Никонов<sup>2</sup>

1 – Институт физики Земли РАН, г. Москва, yura@kuzmin.msk.ru

Формирование локальных платформенных структур, в том числе и нефтегазоностных, таких как поднятия и валы, определяется региональными закономерностями постоянно изменяющихся в геологическом времени глубинных процессов. Главным механизмом в образовании локальных поднятий являются вертикальные движения блоков фундамента, вызванные региональной активизацией мантийных процессов, реализующихся в пределах локальных (ослабленных) зон платформенных территорий. Учитывая данные по глубокому бурению в различных платформенных областях в связи с разработкой нефтегазовых месторождений, а также данным по использованию локальных структур под подземные хранилища газа (ПХГ), можно утверждать, что активизация геодинамических процессов приводят к созданию разломно-блоковой структуры данных поднятий. Это проявляется в чередовании блоков пород, разделенных зонами повышенной трещиноватости, последние из которых при внедрении глубинных флюидов отражаются в геолого-минералогических особенностях этих зон посредством вторичной их минерализации и сопровождаются гидротермально-метасоматическими преобразованиями пород [1]. С другой стороны, релаксация накопленных напряжений в антиклинальных платформенных структурах осуществляется по зонам разломов через механизм параметрически индуцированных тектонических деформаций геологической среды (подновление или активизация зон разломов)[2]. Данные представления подтверждены многочисленными наблюдениями на геодинамических полигонах, расположенных как в пределах нефтегазовых месторождений, так и вне их. Это позволяет по-новому объяснять механизм проявления (в том числе и мерцания) на аэрокосмичеупорядочненых систем линеаментов (разломов) проведении структурного дешифрирования материалов дистанционного зондирования.

Таким образом, механизм формирования углеводородных месторождений при активизации вертикальных движений блоков фундамента, связанный с внедрением глубинных флюидов, представляет сочетание вертикальных зон разломов сдвигового и отрывного типа с горизонтальными зонами повышенной трещиноватости сколового типа, последние из которых характеризуют такой распространенный тип коллекторов, как порово-трещинный и трещинный.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> – Институт проблем нефти и газа РАН, г. Москва

Эксперименты, выполненные на прозрачных оптически активных и непрозрачных эквивалентных материалах, моделирующих процесс формирования подобных локальных структур при вертикальном движении штампа различной формы [3], подтверждают, что распределение нормальных ( $\sigma_1$  и  $\sigma_3$ ) и касательных ( $\tau_{max}$ ) напряжений в многослойных разноплотностных моделях создают структуру блокового типа.

В антиклинальных структурах описанного выше типа образование трещин отрыва субвертикальной ориентации в зонах наибольшего растяжения может произойти только тогда, когда нормальные напряжения превысят прочность пород на разрыв. В этом случае распределение вертикальной трещиноватости определяется следующими закономерностями:

- Разломы отрывного типа субвертикальной ориентировки должны быть приурочены к центральной части поднятия;
- Они могут образовываться как в отдельных слоях, так и пересекать весь осадочный чехол;
- В разноплотностных слоях в зависимости от формы штампа наблюдается несовпадение местоположения отрывных трещин в разных горизонтах;
- Сквозной или несквозной характер развития субвертикальной трещиноватости зависит от скорости формирования поднятия, его амплитуды, а также прочностных свойств пород чехла.

Такой характер развития вертикальной трещиноватости выявлен по данным структурного дешифрирования [4] и геолого-геофизическим исследованиям на многих платформенных поднятиях. Существование таких зон, подтверустановленными процессами миграции искусственной залежи вплоть до земной поверхности. Формирование зон горизонтальной трещиноватости с позиции авторов определяется несколько иным механизмом по сравнению с вышеописанным. Известно, что проницаемость пород, созданных трещинами отрыва, существенно больше, чем созданных сколовыми трещинами. В то же время касательные напряжения могут образовывать зоны сколовых трещин, приуроченных к границам раздела сред и областям проявления максимальных напряжений. В отличие от нормальных напряжений они не способны образовывать трещины отрыва. Образование же горизонтальных трещин отрыва в них может произойти только за счет проникновения в сколовые трещины флюидов, обладающих расклинивающим действием. При этом нагнетание флюида должно осуществляться под давлением, превышающим пластовое, что и происходит при активизации вертикальных движений блоков фундамента. Таким образом, под влиянием процесса гидроразрыва сколовые трещины преобразуются в отрывные, формируя горизонтальные зоны повышенной трещиноватости.

На основе выше приведенных представлений и анализа геологогеофизических материалов по ряду месторождений и ПХГ с целью построения «геологических» моделей по комплексу методов выявилось противоречие с «сейсмическими» моделями, в которых находят отражение только вертикальные зоны разломов сдвигового типа и не проявлены разломы отрывного типа, являющиеся основными каналами внедрения флюидов при тектонических перестройках локальных структур в вышележащие пороосадочного чехла. противоречия объясняются наличием Ланные многофакторности параметров, влияющих на скорость и отражательную способность Р и S волн, а также необходимостью при интерпретации полученных исходных данных решать множество математически некорректных задач и выдавать при этом достоверный количественный прогноз о структуре сложнопостроенного геологического объекта. Оказалось, что данный метод, с одной стороны не позволяет выявлять зоны разломов сдвигового типа с амплитудой 5-10 м, а также зоны разломов отрывного типа, проявляющегося в виде зон потери корреляции. С другой стороны, применяемые математические методы обработки сейсморазведочных данных при изменении какого-либо компонента условий подбора приводят к множеству различных, подчас противоречивых геологических выводов о строении месторождения.

Таким образом, построение «сейсмических» и «геологических» моделей месторождения должно основываться на тектонофизическом анализе уровня и характера возникающих в них напряжений, т.к. механизмы их реализации во многом определяют структурные особенности исследуемого объекта.

### Литература

- 1. Давиденко Н.М., Никонов А.И., Сворень И.М. Поисково-оценочное значение флюидных включений в прожилково-вкрапленных минералах нефтегазовых месторождений // Фундаментальный базис новых технологий нефтяной и газовой промышленности. Сб. науч. тр. М.: Наука. 2002. Вып. 2. С. 184-192.
- 2. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика и оценка геодинамического риска при недропользовании. М.: АЭН. 1999. 220 с.
- 3. Бондаренко П.М., Зубков М.Ю. Особенности распределения внутрипластовых напряжений в оптических моделях деформируемых слоистых толщ и их значение для прогноза флюидоконтролирующих дислокаций в рудных и нефтеносных районах // Тектонофизика сегодня (к юбилею М.В. Гзовского). М.: 2002. 436 с.
- 4. Кравцов В.В., Никонов А.И. Системно-иерархическая структура полей напряжений и ее отражение на аэрокосмических снимках на примере Самотлорского месторождения (Черногорская площадь) // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений 1996. № 8–9. С. 18-21.

# Взаимосвязь техногенной сейсмичности и структурно-блокового строения массива на Ловозероском редкометальном месторождении

### А.В. Ловчиков

Горный институт Кольского научного центра РАН, г. Апатиты, vocson@goi.kolasc.net.ru

Ловозерское редкометальное месторождение, расположенное в центральной части Кольского полуострова, в последние годы является одним из наиболее сейсмичных районной Кольского полуострова, а среди эксплуатируемых месторождений нашей страны - самым сейсмически активным месторождением. В течение последних лет в массиве месторождения ежегодно происходит с десяток и более сейсмических событий с магнит∨дой М≥1. Здесь произошло самое сильное техногенное землетрясение на рудниках России за всю историю их эксплуатации (17.08.1999 г, рудник «Умбозеро», М = 4.0-4.4), разрушившее горные выработки рудника на площади около 650 тыс. м<sup>2</sup>. Столь активные проявления сейсмичности кажутся странными, во-первых, потому, что до 90-х годов прошлого века никакой сейсмичности здесь вообще не наблюдалось; во-вторых, потому, что Кольский полуостров в целом является асейсмичной территорией (часть Балтийского щита), а к его центральной части, где расположено месторождение, это относится в наибольшей степени. Наиболее сейсмически активными областями на Кольском полуострове считаются его северное и южное побережье, – побережье Баренцева моря и Кандалакшский залив Белого моря. Исследованиями Горного института КНЦ РАН установлено, что сейсмичность массива Ловозерского месторождения является техногенной, индуцированной горными работами [1]. Первоначально техногенная сейсмичность на Кольском полуострове появилась в начале 80-х годов на Хибинском апатитовом месторождении, эксплуатирующемся с 1930 года, что позволило Г.Д. Панасенко впервые заявить о техногенной активизации тектонических процессов в Хибинском массиве [2]. В соседнем Ловозерском массиве такая активизация проявилась на 10 лет позднее, - с начала 90-х годов. Однако ее проявление произошло столь быстро и интенсивно, что сейсмическая активность массива Ловозерского месторождения превзошла активность Хибинского месторождения и других отрабатываемых ныне отечественных месторождений. Ловозерское месторождение отрабатывается двумя рудниками – «Карнасурт» и «Умбозеро». Рудник «Карнасурт» эксплуатируется с 1951 года до настоящего времени; рудник «Умбозеро» эксплуатировался с 1984 до 2004 года, в настоящее время законсервирован. Однако техногенная сейсмичность на Ловозерском месторождении проявилась впервые с 1991 года именно на руднике «Умбозеро». Темпы ее роста были стремительными: от 3 событий с магнитудой M>1 в 1991 году до 34 событий такого же и многократно большего ранга в 1999 году. 17.08.1999 года на руднике «Умбозеро» произошло сильнейшее техногенное землетрясение, разрушившее рудник. После землетрясения восстановление рудника продолжалось более года. Сейсмичность массива рудника после этого события резко упала с 34 событий в 1999 году до 8 (М≥1) в 2000 году и далее снижалась, особенно в связи с консервацией рудника. В настоящее время сейсмичность в массиве рудника практически не проявляется. Однако в 2001 году возникла и стала возрастать сейсмичность в массиве рудника «Карнасурт», расположенного на расстоянии 6-10 км от шахтного поля рудника «Умбозеро», таким образом, что общее число сейсмических событий с магнитудой М≥1, составляющее около десяти случаев в год, остается неизменным. Пространственно-временной анализ развития сейсмичности и размещения очагов событий на шахтном поле рудника «Карнасурт» (протяженность шахтного поля 6 км) позволил установить некоторые закономерности их возникновения. Шахтное поле рудника в средней части разделено глубокой межгорной долиной и разломом, проходящим по ней, на два фланга – Востояный и Западный. Это разделение показано на структурно-блоковой схеме Ловозерского массива (рис. 1).

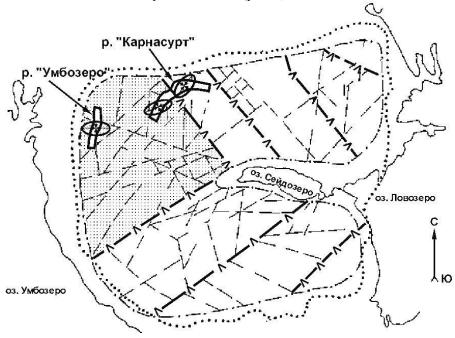


Рис. 1. Схема геолого-структурного строения Ловозерского массива.

Оказалось, что все крупные сейсмические события в массиве рудника происходят на его западном фланге и отсутствуют на восточном. Разлом III ранга, разделяющий фланги, служит естественной границей районов с разной сейсмичностью. Западный фланг (рисунок) расположен в том же структурном блоке III ранга, в котором находится шахтное поле рудника «Умбозеро».

В результате натурных измерений установлено, что уровень гравитационно-тектонических напряжений в этом блоке выше, чем в соседних. Направление максимальных сжимающих напряжений в нем также отличается, что показано на рисунке в виде эллипсов напряжений, большая ось которых указывает направление максимальных напряжений сжатия. Повышенный vровень тектонических напряжений vчастках блока. расположенных вблизи геологических нарушений массива, складываясь с повышенными гравитационно-тектоническими напряжениями в зонах ведения очистных работ, вызывает динамические явления в массиве в виде сейсмических событий различного энергетического уровня. Главной причиной сейсмических событий на Ловозерском месторождении являются естественные гравитационно-тектонические напряжения в массиве, достигающие 50-70 МПа, и его структурная нарушенность. Этими напряжения вызваны сейсмические события в массиве рудника «Умбозеро» и западного фланга рудника «Карнасурт».

### Литература

- 1. Ловчиков А.В., Асминг В.Э. Изменение геодинамического режима Ловозерского массива (Кольский полуостров) под влиянием горных работ. Труды 8-го международного симпозиума «Горное дело в Арктике». 20-23 июня 2005 г. Апатиты: Изд. «Типография Иван Федоров». 2005. С. 48-55.
- 2. Панасенко Г.Д. Техногенная активизация тектонических процессов в Хибинском массиве, задачи и пути ее изучения. В кн. Геофизические исследования на Европейском Севере СССР. Апатиты: Изд. КФАН СССР. 1983. С. 25-38.

# Взаимосвязь техногенной сейсмичности и отработка наклонных залежей: Изученный случай крупного обрушения на рудниках Жезказганского месторождения

### В.А. Мансуров, В.И. Герасименко, А.Б. Макаров

"Kazakhmys Co"LTD, г. Жезказган, Казахстан, rud@kazakhmys.kz

## Процессы сдвижения и обрушения на Жезказганских рудниках.

Рассматривается опыт эксплуатации Жезказганского месторождения меди. К настоящему времени на рудниках ТОО «Корпорация Казахмыс/Казахмедь» накоплен значительный объем пустот и его доработка идет в сложных геомеханических условиях. Процессы разрушения в массиве горных пород естественно обусловлены и контролируются полями естественных напряжений, а также напряжениями, индуцированными горными работами. Если первые учитывались при разработке генерального проекта добычи запасов, то вторые постоянно изменяют свои значения и направления действия и имеют локальный характер. Для обеспечения безопасности горных работ и повышения их экономической эффективности необходимо регистриропроявления горного давления, обусловленные перечисленных выше напряжений, наблюдать за их развитием, давать им оценку, определять рациональные параметры, порядок и границы ведения горных работ.

Масштабы проявлений горного давления под воздействием напряжений изменяются в широких пределах: от образования отдельных мелких трещин и отслоений, до крупномасштабных подвижек всей толщи пород до поверхности на большой площади. Общая закономерность развития геомеханических процессов такова: редкие крупные события (обрушения больших объемов массива) готовятся в течение длительного времени, большим числом более мелких событий (образованием микро- и макротрещин, разломов). Причём мелкие трещины, представляют собой как существовавшие в породе до воздействия напряжений, так и возникшие в результате проходки выработок и нарезных работ, которые и развиваются в поле локальных, индуцированных горными работами, напряжений. После чего происходит перераспределение напряжений и разрушение локализуется, приводя к крупномасштабному разрушению. Налицо применимость двухстадийной модели разрушения твёрдых тел, разработанной в ФТИ им. А.Ф. Иоффе.

Следовательно, согласно указанной модели разрушения, **чтобы прогнози- ровать появление крупномасштабных разрушений, необходимо постоянно отслеживать накопление мелких повреждений массива гор- ных пород в пространстве и времени.** Таким образом - мониторинг состояния горного массива должен быть непрерывным.

При этом, средства мониторинга должны быть разнообразными, чтобы регистрировать геомеханические процессы разных масштабных уровней. Полученные различными средствами мониторинга результаты, должны анализироваться, сопоставляться, обобщаться, дополняться аналитическими расчетами. Конечным результатом мониторинга является оценка текущей геомеханической ситуации, прогноз ее развития и рекомендации по дальнейшему безопасному ведению горных работ.

Опытом горных работ на Жезказганском месторождении установлено, что началом опасных геомеханических процессов, создающих угрозу для безопасности работающих в шахте и сохранности объектов на земной поверхности, является разрушение междукамерных целиков/столбов/опор (МКЦ), обрушения междукамерных потолочин (породных "мостов" на сближенных перекрывающихся залежах). Особенно важным при этом является учёт влияния касательных/сдвиговых напряжений, при добыче руды на наклонных залежах, не учёт которых чреват негативными последствиями.

На Жезказганских рудниках одним из средств мониторинга массива являются — *систематические визуальные обследования выработанного пространства*, для выявления и регистрации признаков и фактов разрушения целиков, отслоений и обрушений кровли камер и потолочин. Периодичность визуальных обследований различна: от 1 раза в год (на участках, устойчивость которых не вызывает вопросов) до 1 раза в день (на ответственных участках с интенсивным развитием геомеханической ситуации).

В ходе разрушения МКЦ массив стремится заполнить выработанное пространство, вовлекая в процесс сдвижения толщу вмещающих пород. Происходит локализация разрушения, приводя к смещениям в узких зонах сдвига/среза. В процессе сдвижения масштабы образующихся трещин могут достигать десятков и сотен метров. Упругие колебания, возникающие при их образовании, имеют большую интенсивность и низкую частоту (от единиц до сотен герц). Они распространяются в массиве на километры. Для их регистрации на месторождении используется сейсмическая система контроля, которая является важным средством мониторинга массива. Крупные обрушения налегающей толщи, происходящие на ряде рудников мира, вызывают мощные низкочастотные колебания массива, которые распространяются на тысячи километров и регистрируются сейсмостанциями, как землетрясения. Таким образом, сейсмическая система контроля отслеживает развитие процессов разрушения в подработанной, сдвигающейся толще пород.

Разрушение или извлечение МКЦ приводит к обрушению налегающей толщи и сдвижению земной поверхности. Анализом многолетних наблюдений за оседанием земной поверхности было показано, что подготовку крупных обрушений можно проследить за несколько лет, с момента появления первых групп разрушенных целиков, до момента полной посадки налегающей толщи вплоть до поверхности. Поэтому - контроль совижения

**земной поверхности** маркшейдерскими методами, по реперам профильных линий, является инструментом мониторинга для выявления долгосрочных предвестников грядущего обрушения.

Опытом контроля геомеханических процессов на Жезказганском месторождении, для всех перечисленных средств мониторинга массива, были определены прогностические критерии, с помощью которых оценивается текущее состояние массива и перспективы его развития. Целью работы Центра мониторинга горного давления и горно-геомеханической службы корпорации поэтому является не прогноз времени обрушения, а оценка реального текущего состояния, позволяющее осуществить своевременные превентивные мероприятия и, тем самым повысить безопасность горных работ, сохраняя жизни шахтёров, спасая дорогостоящую технику и обеспечивая более полное извлечение запасов из недр.

### Описание и причины происшедшего коллапса

В качестве примера рассмотрено крупное обрушение происшедшее в 2006 году на Анненском руднике корпорации. Характерной особенностью Анненского района является более крутое, чем в центральной части месторождения, залегание толщи пород. За счет присутствия разрывных тектонических нарушений, мелкоамплитудной складчатости, зон смятия, флексурных перегибов, трещиноватость массива повышена и осложнена зеркалами скольжения различных направлений. Поэтому, устойчивость пород и руд в районе в целом ниже, чем в центральном рудном поле.

Разработка наклонных залежей Анненского района осуществлялась камерно-столбовой системой с оставлением массивных, а с 1998 г – барьерных целиков и расположением камер по простиранию рудных тел. МКЦ оформлялись вертикально. При этом они, зачастую, имели вытянутую форму по простиранию залежей. К 2004 году общая площадь подработки земной поверхности составила 2.5×0.7 км. Наибольшее развитие горные работы получили по площади нижней, наиболее продуктивной залежи Анн-2-I-II. Отработка вышележащих, более бедных залежей производилась в нисходящем порядке после их подработки горными работами по залежи Анн-2-I-II. Процессы постепенного разрушения МКЦ наблюдались практически во всех панелях и блоках Анненского рудника. Причем, интенсивность разрушения МКЦ усиливалось с увеличением угла падения залежей. Накопление поврежденных целиков создавало угрозу цепной реакции их полного разрушения. На перекрывающихся залежах кроме МКЦ имеется еще один конструктивный элемент системы разработки - междукамерная потолочина («мост»), представленная более слабыми (чем руда) породами междупластья. Из-за подрезки породной потолочины сверху и снизу, из-за наличия в ней пологих контактов, зеркал скольжения, трещин, а также обводнения пород происходили многочисленные провалы «мостов». Кроме этого после обрушения «мостов» МКЦ перестают быть несущими конструкциями, т.к. более чем в 2 раза увеличивается их высота. Кроме того, на месте провала на боковой поверхности МКЦ оказывается обнаженной породный прослой, по которому происходит разрушение целика срезом по наклонным поверхностям ослабления: трещинам, контактам слоев, зеркалам скольжения. Таким образом, происходило постепенное ухудшение состояния выработанного пространства Анненского рудника.

Согласно проделанным в 2001 г расчетам было найдено, что ряд блоков и панелей находятся в неустойчивом состоянии из-за разрушений целиков и междупластий. Было рекомендовано начать гидравлическую закладку неустойчивых участков. Однако, из-за больших затрат эти рекомендации не были приняты и реализованы. В последующие годы тенденция ухудшения устойчивости сохранилась. К середине 2004 г экспертизой выработанных пространств Анненского района было выявлено 8 неустойчивых и 6 ослабленных участков, которые объединились в 3 ослабленных района. Снижение устойчивости выработанных пространств отмечалось также по нарастанию сейсмической активности массива в данном районе. Большинство зарегистрированных сейсмических событий тяготело к границам зон с жестким и податливым поддержанием выработанного пространства, где развивались максимальные срезающие напряжения и зарождались крупные трещины в кровле, по которым в будущем произошли обрушения налегающей толщи сдвигом. Однако, время, необходимое для проведения мероприятий по предотвращению обрушения (закладки выработанного пространства), было уже упущено.

Процесс разрушения целиков и мостов в этих зонах привёл к тому, что образовались две изолированные зоны обрушения, которые в плане разделены между собой участками не подработанного массива и жесткими целиками. В итоге, произошло не массовое обрушение по всей площади, а ряд локальных обрушений налегающей толщи с образованием локальных сводов, ограниченных сверху слоями пород-мостов серых песчаников. Оно указало на наличие особенностей процесса сдвижения горных пород на наклонных залежах, которые ранее на Жезказганском месторождении не встречались, заключающиеся в развитии сдвиговых подвижек в налегающей толще вокруг зоны обрушения по наклонным поверхностям ослабления массива. Происшедшие в ходе обрушения смещения массива и перераспределение напряжений в нем ускорили подготовку обрушения соседних ослабленных участков. Это подтвердил анализ сейсмической активности Анненского района, который показал, что в 2005 г после происшедшего крупного обрушения выделение сейсмической энергии значительно превышало уровень предыдущих годов. Было ясно, что готовится новое крупное обрушение, предотвратить которое было уже невозможно. Интенсивная фаза обрушения длилась 2 суток (14 и 15 сентября 2006 г), за которые было зарегистрировано около 250 сейсмических событий. За это время произошло полное оконтуривание зоны обрушения разрывными трещинами. Общая зона обрушения выработанных пространств ВЖР и АЖР в 2006 г составила 720 тыс.  $\text{м}^2$ . На земной поверхности мульда сдвижения оконтурена разрывными трещинами. Объемы погашенных пустот составили: — на ВЖР 1.5 млн.  $\text{м}^3$ , — на АЖР — 5.1 млн.  $\text{м}^3$ . По состоянию на 27.09.2006 г процесс обрушения полностью завершился.

Все причины, вызвавшие обрушение можно свести к двум вопросам:

- неправильно ведется расчет МКЦ?
- данная технология неприменима в данных условиях?

Учет сдвигающих напряжений  $\tau$  приводит к результату, который показывает то, что на наклонных залежах значительно снижается устойчивость МКЦ. Причем, чем больше угол падения, тем ниже устойчивость МКЦ.

Опыт обрушений, происшедших на Анненском руднике в 2004—2006 гг, показал, что при отработке свиты наклонных залежей процесс сдвижения осложняется сдвигом пород по наклонным поверхностям ослабления массива. Наблюдаемые сдвиги происходят по наклонным межпластовым контактам, трещинам и зеркалам скольжения, которые образовались в процессе формирования флексурных зон, т.е. при изгибе слоистой толщи пород во флексурах происходили межпластовые подвижки. Расчёты показали, что при разработке залежей с углами падения более 20° практически невозможно обеспечить устойчивость столбчатых МКЦ и ленточных МКЦ, вытянутых по простиранию залежей. В данных условиях единственно возможным вариантом камерно-столбовой системы является вариант с оставлением ленточных МКЦ по падению залежей.

Таким образом, основной причиной обрушений на Анненском руднике следует считать несоответствие технологии добычи руды, принятой по критерию максимальной производительности, горно-геологическим и геомеханическим условиям наклонных залежей из-за неустойчивости столбчатых МКЦ имеющих наклонные поверхности ослабления.

Изученные материалы позволяют констатировать: *основными причинами обрушений на Анненском руднике являются* 

- несоответствие принятой технологии добычи руды (камерностолбовая система разработки со столбчатыми или ленточными междукамерными целиками по простиранию) геомеханическим условиям наклонных залежей из-за неустойчивости несущих элементов МКЦ и междукамерных потолочин («мостов»);
  - отказ от закладки выработанного пространства.

# Мезомеханический сценарий деформирования массива Денежкин Камень и его проявление в магнитоакустических характеристиках горных пород

# П.С. Мартышко, В.А. Пьянков

Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, v\_pyankov@mail.ru

В современных физических полях содержится интегральная информация о тектонических процессах прошлого, в результате которых сформировались закономерно распределенные физические неоднородности земной коры. Анализ пространственного распределения неоднородностей позволяет восстанавливать закономерности их образования. Так, например, в магнитном поле отражается как распределение ферромагнетиков в горной породе, так и их состояние. Состояние данного ферромагнетика зависит от его магнитной предыстории, т.е. от испытанных им тектонических воздействий. Если в ферромагнетизме исследуются главным образом некоторые состояния как результат внешних воздействий, то задачи решаемые на основе магнетизма горных пород и его проявления в физических полях, являются преимущественно обратными: изучение магнитного состояния должно дать ответ на вопрос о характере обусловивших его причин. Поскольку носителями ферромагнетизма являются специфические мезоэлементы – магнитные домены, то считаем целесообразным при решении обратных задач магнетизма опираться на основные парадигмы мезомеханики.

Объектом настоящих исследований является дунит-пироксенит-габбровый массив Денежкин Камень (Северный Урал). Для изучения его глубинного строения решена обратная задача магнитометрии, т.е. по заданному на земной поверхности магнитному полю построено объемное распределение магнитных свойств горных пород. Полученная в результате исследований магнитная модель земной коры представляет собой комбинацию контрастных по магнитным свойствам блоков земной коры переменного наклона. Среди этих блоков наибольший интерес представляет блок дунитов, обладающий наименьшей магнитной восприимчивостью х и наибольшей остаточной намагниченностью I<sub>n</sub>. Направление намагниченности дунитов изменяется от субгоризонтального в верхней части разреза до современного в низах разреза. Это позволяет предположить, что западный блок пород был деформирован из субгоризонтального положенияв вертикальное после формирования остаточной намагниченности [1]. Дуниты оторочены мощной прослойкой пироксенитов, переходящих в габбро. Наиболее интересной с точки зрения тектоники является зона контакта пироксенитов и габбро, так называемый «горячий шов». Объектом настоящего изучения являются образцы горных пород широкой полосы, включающей в себя «горячий шов». Предполагается, что породы деформировались в твердопластическом состоянии. Аргументом для такого предположения являются следующие факты. Исследования показали, что дуниты в отличие от пироксенитов деформируются пластически. Следовательно, эти контактирующие пачки горных пород деформируются несовместно. Что же должно происходить в деформируемой системе дунит-пироксенит-габбро, и каким образом реликты деформационных процессов проявляются в физических свойствах горных пород и, следовательно, в физических полях? Из мезомеханических парадигм следует, что деформируемые блоки земной коры являются открытой сильнонеравновесной системой. Самоорганизация этой системы в заданных граничных условиях нагружения обуславливает формирование диссипативных структур, эволюция которых определяет характер пластического течения дунитов и разрушения хрупкой пироксенитовой оторочки на контакте с габбро. В слое пироксенитов деформация на мезоуровне проявляется в возникновении системы квазипериодических трещин. В объеме дунитов развиваются системы квазипериодических диссипативных мезополос локализованной деформации, четко коррелирующих с микротрещинами в пироксенитовом слое [2]. Частота расположения этих микротрещин зависит от соотношения механических характеристик пироксенитового слоя и дунитов, толщины пироксенитового слоя (в единицах мощности дунитов), характера переходной зоны и других факторов. В областях сформировавшейся мезоструктуры наблюдается движение отдельных мезообъемов как целого по схеме «сдвиг + поворот». В лабораторных экспериментах зарегистрировано вдавливание в образец поверхностных мезообъемов в виде трехгранных призм. Экструзия основного материала между вдавливаемых призм образует стационарную поверхностную волну. Локализация этого процесса в одном из сечений сопровождается сильным поворотом трехгранной призмы и образованием трещины на ее гра-Реликты окатанных трехгранных пироксенитовых заключенными в них ферромагнетиками внедрены в экструдированную ферримагнитную матрицу габбро. Процессы экструзии находят свое отражение в прогрессивном уменьшении в направлении «горячего шва» размеров зерен матрицы габбро. Ферромагнитные домены как матрицы габбро, так и реликтов пироксенитовых призм сами по себе являются мезоструктурными носителями магнетизма и представляют собой объект изучения метода магнитоакустической эмиссии (эффект Баркгаузена). Известно, наложении внешнего магнитного поля ферромагнетик будет намагничиваться, причем, на первой стадии намагничивание будет осуществляться за счет смещения междоменных границ. Пусть при изменении намагниченности от  $I_1$ до  $I_2$  при смщении границы от  $x_1$  до  $x_2$  происходит n скачков Баркгаузена. Так как каждый скачок Баркгаузена происходит на некотором немагнитном включении или локальном узле внутренних напряжений, то при обратном движении от х2 до х1 должно произойти такое же количество скачков обратного направления. Максимальному количеству скачков соответствует значение коэрцитивной силы Н<sub>с.</sub> Исследования эффекта Баркгаузена на образцах, отобранных на субширотном профиле, показали, что для подавляючисла образцов характерна моноэкстремальная шего магнитоакустической эмиссии. Лишь для восточного контактного блока наблюдается бимодальное распределение акустической эмиссии. образом, эти породы представляют собой механическую смесь, составленную из двух ингредиентов, характеризующихся различными значениями коэрцитивной силы Н<sub>с</sub>. Отмеченный факт находится в полном соответствии с принципом аддитивности, доказанным для магнитоакустической эмиссии [3]. Следовательно, к матрице габбро добавлены обломки пород с ферромагнитвключениями. обладающими высокой коэрцитивной Мезомеханический сценарий несовместного деформирования находит свое подтверждение в результатах исследований пространственного распределения размеров как зерен габбровой матрицы, так и включений пироксенитов. Размер зерен экструдированной габбровой матрицы прогрессивно уменьшается с приближением к «горячему шву».

## Литература

- 1. Пьянков В.А., Мартышко П.С., Начапкин Н.И., Полянина Т.В., Ефимов А.А. Трехмерная гравимагнитная модель земной коры Североуральского сегмента Платиноносного пояса // Геофизический вестник. 2006. № 2. С. 31-36.
- 2. Панин В.Е. Основы физической мезомеханики // Физическая мезомеханика. 1998. Т. 1, № 1. С. 5-22.
- 3. Глухих И.И., Иванченко В.С., Угрюмова И.С. Экспериментальные исследования МАЭ природных ферромагнетиков // Уральский геофизический вестник. 2000. № 1. С. 40-46.

# Техногенная сейсмичность как отражение эволюции напряженно-деформированного состояния геологической среды в горнорудной природно-технической системе

## Н.Н. Мельников, А.А. Козырев, В.И. Панин

Горный институт Кольский НЦ РАН, г. Aпатиты, trout@goi.kolasc.net.ru

деформирование геологической среды в Как известно. технических системах определяется взаимодействием главным образом тектонических и техногенных полей напряжений. Существование тектонических напряжений в земной коре впервые обосновано М.В. Гзовским [1] и к настоящему времени получило экспериментальное подтверждение во многих районах земного шара [2]. При этом в горнорудных природно-технических системах (ГрПТС) определяющее влияние на геомеханические процессы в геологической среде оказывают техногенные нагрузки. Выемка и перемещение значительных объемов горных пород нарушает геодинамический режим геологической среды, однако вследствие гомеостатических механизмов (принцип Ле Шателье) среда постоянно стремится к устойчивому состоянию в определенных временных интервалах [3]. Деформирование дискретной геологической среды сопровождается диссипацией энергии, определяемой размерами вовлекаемых в процесс деформирования блоков [4]. Аналитическими и экспериментальными исследованиями установлено [5], изменение энергии деформирования пород в процессе эволюции геологической среды в ГрПТС под влиянием естественных и техногенных силовых полей имеет нелинейный характер, а реализация динамического явления обусловлена превышением накопленной энергии В некотором геологической среды её критической величины, определяемой параметрами упругих и прочностных свойств горных пород.

По аналогии с предложенной М.В. Гзовским моделью скорости роста и сейсмичности тектонического разрыва с позиций универсального эволюционизма академика Н.Н. Моисеева [6] эволюцию геологической среды в ГрПТС можно представить в виде триады: адаптация-изменчивость-отбор (рис. 1). В точке бифуркации E разрядка напряжений может произойти либо в виде медленных деформаций, либо быстрым сбросом в виде динамического явления, энергия которого определяется размерами разрыва.

На эволюцию геологической среды в ГрПТС оказывают влияние множество случайных (принцип Пуанкаре) и детерминированных факторов [7], однако в процессе эволюции любой сложной системы выделяют несколько главных факторов, называемых параметрами порядка, или управляющими параметрами. В качестве внутренних параметров порядка геологической среды в ГрПТС, определяющих её геомеханическую эволюцию, следует принимать

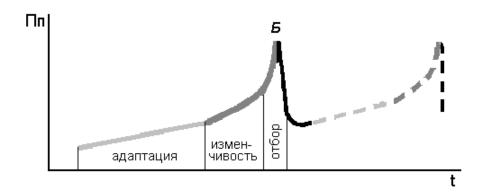


Рис. 1. Схема эволюции геологической среды в ГрПТС [6].

показатели её напряженно-деформированного состояния, в качестве внешних – объемы и параметры горных работ.

Эволюция любой системы преследует определенные цели: стабильность и развитие в неживых системах, в живых – гомеостаз и развитие. При этом развитие возможно только потому, что эта стабильность имеет характер динамического равновесия. Кстати, анализ параметров естественной (тектонической) техногенной сейсмичности дает основание геологическую среду «живой», которая эволюционирует, чётко реагируя на все природные и техногенные воздействия [8, 9]. При этом «Блочноиерархическая структура земной коры – не только арена, на которой разворачиваются геодинамические процессы, но и активный участник этих процессов» [10, с. 52]. А поскольку эволюция живой системы может быть управляемой (в некоторых пространственно-временных интервалах), то основной целью эволюции геологической среды в ГрПТС должно бытьляется обеспечение стабильной и безопасной работы горнодобывающего предприятия. Для этого необходимо контролировать все стадии эволюции этой системы. Самой благоприятной для работающего предприятия является стадия адаптации, в которой необходимо поддерживать систему как можно дольше. Но изменения в геологической среде работающего рудника неизбежны и иногда они могут иметь катастрофический характер. Самой опасной является стадия отбора, где вследствие бифуркационных механизмов возможны кризисные состояния, опасные в том числе и по динамическим проявлениям типа горных ударов и техногенных землетрясений как в пределах рабочей зоны рудников, так и в границах их геомеханических пространств. Для определения пространственно-временных параметров этой стадии и для управления геомеханическими процессами в ней разработаны соответствующие системы геодинамического мониторинга, экспертные системы оценки и прогноза удароопасой ситуации и способы противоударной профилактики [11].

При этом необходимо подчеркнуть, что осуществляется прогноз и профилактика не отдельного динамического события, а кризисной области с повышенным геодинамическим риском, что на современном этапе развития теории сейсмического процесса и методики, и техники механического мониторинга является задачей выполнимой. Кстати, именно на этом пути пока достигнуты реальные успехи в отечественной и зарубежной сейсмологии.

## Литература

- 1. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: Наука. 1975. 536 с.
- 2. Mary Lou Zobak, Mark D. Zobak, J.Adams, M.Assumpção, S.Bell, E.A.Bergman, P.Blümling, N.R.Brereton, D.Denham, J.Ding, K.Fuchs, N.Gay, S.Gregersen, H.K.Gupta, A.Gvishiani, K.Jacob, R.Klein, P.Knoll, M.Magee, J.L.Mercier, B.C.Müller, C.Paquin, K.Rajendran, O.Stephansson, G.Suarez, M.Suter, A.Udias, Z.H.Xu & M.Zhizhin. Global patterns of tectonic stress // Nature. 1989. V. 341. P. 291-298.
- 3. Тахтаджанян А.Л. Principia tectologica. Принципы организации и трансформации сложных систем: эволюционный подход. Изд. 2-е, доп. и перераб. СПб: СПХФА. 2001. 121 с.
- 4. Садовский М.А., Болховитинов Л.Г. Писаренко В.Ф. Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. М.: Наука. 1987. 100 с.
- 5. Мельников Н.Н., Козырев А.А., Савченко С.Н., Панин В.И., Мальцев В.А. Прогноз и профилактика техногенных землетрясений с позиций нелинейной геодинамики. ФТПРПИ. 2001. № 4. С. 1-16.
- 6. Моисеев Н.Н. Расставание с простотой. М.: «Аграф». 1998. 480 с.
- 7. Садовский М.А., Писаренко В.Ф. Случайность и неустойчивость в геофизических процессах // Физика Земли. 1989. № 2. С. 3-12.
- 8. Николаев А.В. Черты геофизики XXI века // Проблемы геофизики XXI века. М.: Наука. 2003. Кн. 1. С. 7-16.
- 9. Гольдин С.В. Физика «живой» Земли // Проблемы геофизики XXI века. М.: Наука. 2003. Кн. 1. С. 17-36.
- 10. Гольдин С.В Дилатансия, переупаковка и землетрясения // Физика Земли. 2004. № 10. С. 37-54.
- 11. Сейсмичность при горных работах. Коллектив авторов. Под редакцией академика Н.Н. Мельников. Апатиты: КНЦ РАН. 2002. 325 с.

# Экспериментальное изучение наноструктур горных пород, подвергнутых квазигидростатическому сжатию

# Ю.А Морозов<sup>1</sup>, С.М. Киреенкова<sup>1</sup>, Г.А. Соболев<sup>1</sup>, А.И. Смульская<sup>1</sup>, В.А. Цельмович<sup>1</sup>, В.И. Веттегрень<sup>2</sup>, В.Б. Кулик<sup>2</sup>, В.А. Пикулин<sup>2</sup>

1 – Институт физики Земли РАН, г. Mockba, morozov@ifz.ru

Актуальность экспериментального выявления природных наноструктур определяется взаимосвязанностью процессов, происходящих в горных породах и минералах на разных масштабных уровнях. В приложении к задачам геофизики этот аспект приобретает значимость в связи с возникновением нанообразований в условиях деформационного воздействия (природного и/или экспериментального) и разрушения горных пород. Цель работы: поиск нанокристаллов в глубинных горных породах, их идентификация, оценка размеров, внутренних напряжений в нанокристаллах и их изменение под влиянием квазигидростатического давления до 2.5 ГПа. В качестве объекта исследований была выбрана глубинная горная порода – мантийный ксенолит из трубки Обнаженная, расположенной на севере Якутской кимберлитовой провинции. Экспериментальное изучение породы проведено комплексом физических методов: микрозондовым анализом, импульсным ультразвуковым методом и методом спектроскопии комбинационного рассеяния. Образцы для исследований вырезались в трех взаимно-перпендикулярных направлениях, кроме того, в тех же направлениях были изготовлены петрографические шлифы. На основании петрологических исследований ксенолит отнесен к гранатовым пироксенитам. Определен количественный и качественный минералогический состав породы. Установлено, что изученная порода является разновидностью гранатовых пироксенитов - типа мантийных включений, переходных от ультраосновных (перидотитов) к основным (эклогитам), а также сделан вывод об этапах ее термодинамической эволюции. Химический состав породообразующих минералов определен на микрозонде - сканирующем электронном микроскопе «Тескан - Вега - 11» с энергодисперсионным анализатором INCA Energy 450 в ГО «Борок» ИФЗ РАН. Для сравнения был изучен образец той же породы, испытанный в условиях квазигидростатического сжатия до 2.5 ГПа. Состав породообразующих минералов и термодинамические параметры их равновесий не изменились в результате эксперимента. Установлено, что при нагружении были деформированы крупные ламели ортопироксена в клинопироксене: сквозные целые пластинчатые вростки шириной до 150 мкм оказались разорванными на мелкие фрагменты, расположенные в шахматном порядке. Рудное вещество представлено широким спектром составов, форм и размеров: в нем обнаружены петлантиды с переменным содержанием меди и никеля, хлорид серебра

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> – Физико-технический Институт, г. Санкт-Петербург

и самородная медь в микро и наноформах. Этот первичный результат требует дальнейшего исследования и статистического подтверждения.

Квазигидростатическое сжатие образцов ксенолита осуществлялось в установке типа цилиндр – поршень с одновременной регистрацией времени прохождения продольных и поперечных волн импульсным ультразвуковым методом по известной методике. Для проведения экспериментов из ксенолита были вырезаны образцы в трех взаимно-перпендикулярных направлениях, по 2-3 образца каждого направления, диаметром 13.5 мм и высотой 20 мм. Диапазоны изменения физических параметров образцов ксенолита составляют при 2.5 ГПа: плотности -3.33-3.42 г/см $^3$ , скоростей продольных волн -7.52-9.0 км/с, поперечных волн -4.01-5.0 км/с, отношение  $V_p/V_s - 1.96-1.97$ . Методика исследования горных пород методом комбинационного рассеяния (рамановской спектроскопии) представлена в работе [1]. Рамановские спектры измерялись двойным дифракционным спектрометром Ramalong - 5 в режиме счета фотонов. Использовалась схема рассеяния 180°. Анализ поляризации рассеянного света не проводился. Спектры возбуждали аргоновым лазером  $Ar^{++}$  16508 (Spectra Physics), линия 488.0. Луч лазера, сфокусированный на поверхность образца, давал пятно диаметром ≈ 30 мкм. Лазер работал в одномодовом режиме. Методом рамановской спектроскопии получены и проанализированы спектры образцов ксенолита до и после деформации под давлением. Установлено: 1 - в состав ксенолита входят гранат - пироп и пироксен – омфацит, характерные для мантийных пород; 2 – проведена оценка размеров и внутренних напряжений в нанокристаллах, а также изменения их после деформации под давлением; 3 – исследуемые образцы содержат нанокристаллы размером – 15-20 нм; 4 – деформация под квазигидростатическим давлением не оказывает существенного влияния на размеры нанокристаллов; 5 – размеры кристаллографических ячеек в нанокристаллах увеличены, величина эффективных растягивающих напряжений, которые могли бы вызвать такое увеличение, составляет – 1–1.3 ГПа.

## Литература.

1. Соболев Г.А., Веттегрень В.И., Киреенкова С.М., Кулик В.Б., Морозов В.А., Смульская А.И.. Исследование нанокристаллов в горной породе методом спектроскопии комбинационного рассеяния // Физика Земли. 2007. № 6. С. 7-14.

# Метод визуализации гидравлически активных дислокаций в керновых образцах кристаллических пород

# **Р.М.** Насимов<sup>1</sup>, В.А. Петров<sup>2</sup>, В.В. Полуэктов<sup>2</sup>, Й. Хаммер<sup>3</sup>, М. Леспинас<sup>4</sup>

- <sup>1</sup> Институт физики Земли РАН, г. Москва, nasimov@ifz.ru
- <sup>2</sup> Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г. Москва, vlad@igem.ru
- <sup>3</sup> Федеральное ведомство по геонаукам (БГР), г. Ганновер, Германия, j.hammer@bgr.de
- <sup>4</sup> Университет Нанси-1, г. Нанси, Франция, marc.lespinasse@g2r.uhp-nancy.fr

Пористость предопределяет такие физические свойства горных пород, как, например, прочность, скорости распространения упругих волн, теплопроводность, электропроводность и др. Поэтому ее изучение находит применение при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых, а также при строительстве объектов изоляции экологически опасных твердых и жидких отходов в геологических формациях.

Пористость определяется сочетанием пустот (микротрещины, порокапилляры и т.д.). Их пространственная организация связана с сингенетичных и эпигенетичных преобразований особенности которых отражаются в структуре порового пространства. Для выявления параметров порового пространства используются методы свободного водонасыщения, центрифугирования, ртутной газовой порометрии и т.д. Эти методы позволяют установить размеры и объем поровых каналов, но не дают однозначного ответа об их морфологии. Для необходимо привлекать данные оптической электронной микроскопии, а ртутная порометрия к тому же требует соблюдения жестких санитарных норм. В последнее время развивается метод насыщения образцов гелем полиметилметакрилата, содержащего радиоактивный углерод в качестве несорбирующегося трассера (14С-РММА метод). Он позволяет получить наиболее полную информацию о параметрах доступного для флюидов трещинно-порового пространства, но применяется в специально оборудованных радиохимических лабораториях при соблюдении норм санитарного контроля. В повседневной же практике геолого-геофизических, инженерно-геологических, гидрогеологических и других изысканий нередко необходимость экспрессного выяснения пространственного распределения гидравлически активных трещинно-поровых каналов в образцах пород.

Для этого разработан метод выявления неоднородностей упругих характеристик пород в керновых образцах и двухмерной визуализации полученных данных. Он основан на известном факте, что важнейшими параметрами, чутко реагирующими на текстурно-структурные особенности горных пород и флюидонасыщенность их порово-трещинного пространства, являются скорости продольных ( $V_P$ ) и поперечных ( $V_S$ ) волн. Метод состоит в

следующем. Керновый образец размечается на 8 секторов секущими плоскостями, проводимыми через вертикальную ось и образующие на поверхности цилиндра. Проводится посекторное фотографирование боковой поверхности образца и формируется ее цифровая «развертка», на которую визуально видимые трещины И текстурные Образующие пронумерованы таким образом, что при ориентации образца по система «верх-низ» керна координат становится цилиндрической. Вдоль образующих производится пошаговое (через 10-15 мм) определение  $V_P$  и  $V_S$  в перпендикулярных к оси керна плоскостях, т. е. в радиальных направлениях. Измерения проводятся «на просвет» с прямым и обратным ходом при расположении пары датчиков излучатель-приемник на противоположных концах диаметров одной плоскости. смазки используется гель полисахаридов. Погрешность определения  $V_P$  и  $V_S$  после калибровки на эталонных кварцевых и стальных образцах не превышает 1 %. Такое значение получено нами при использовании измерительного комплекса, включающего импульсный генератор «Panametrics PR 5072», цифровой осциллоскоп «TiePie 508» и преобразователи волн «Panametrics» V103 и V153 с собственными частотами 0.5 и 1.0 МГц. Скорости Р- и S-волн измеряются в образцах в двух состояниях: в сухом, после просушивания при температуре 70 °C в течение 4 часов и в водонасыщенном после свободного насыщения с постепенным погружением в воду в течение 7 суток. Наша практика показала, что нагрев до такой температуры не приводит к массовому трещинообразованию вследствие неодинакового температурного расширения минеральной фазы, а свободное насыщение обеспечивает полное водонасыщение матрицы малопористых пород в отличие от «принудительного» водонасыщения в вакууме. На основе этих данных методами минимальной кривизны или крайгинга в координатах X-Y (например, с помощью пакета программ Surfer) строятся картины в изолиниях распределения P- и S-волн для сухого ( $V_{Pdry}$ ,  $V_{Sdry}$ ) и водонасыщенного ( $V_{Psat}$ ,  $V_{Ssat}$ ) состояний, дифференциальные ( $dV_{Psat}$ )  $dV_{S}$ ) картины, получаемые при вычитании скоростей в сухом образце из значений в водонасыщенном, топокарты отклонения скоростей волн от среднего значения или топокарты эффекта водонасыщения  $[E_S = (V_{PSal})^2]$  $V_{Pdry}$ )/ $V_{Pdry}$ ]. Эти топокарты совмещаются с цифровыми развертками боковых поверхностей образцов, что позволяет установить местоположение в объеме акустически И гидравлически активных неоднородностей, а также определить наличие скрытых дислокаций.

С помощью данного метода была установлена анизотропия упругих свойств, выявлены и охарактеризованы неоднородности внутреннего строения керновых образцов пород, слагающих горные массивы на территориях радиохимических (граниты, гранито-гнейсы Нижнеканского массива в районе ГХК, Красноярский край и метавулканиты района ПО «Маяк», Челябинская область) и горнодобывающих (ОАО «ППГХО»,

Забайкальский край) предприятий. Сравнительный анализ скоростных картин цифровых разверток позволил установить, что распределение максимальных и минимальных значений обусловлено, в основном, тремя факторами: ориентировкой и протяженностью гидравлически активных и пассивных (минерализованных) трещин, текстурными особенностями пород разгнейсование) и контактами разновидностей пород. массивных нетрещиноватых породах распределение изолиний относительно гомогенно, когда максимумы и минимумы занимают определенные сектора. При водонасыщении местоположение максимумов и минимумов практически не меняется, хотя они становятся более выраженными. Секторальное распределение изолиний связано, прежде всего, с такими петроструктурными особенностями пород, как плоскости разгнейсования, очково-шлировые включения или скопления полевых шпатов в общей массе темноцветных (амфибол, биотит, пироксен, хлорит) минералов. В трещиноватых образцах распределения максимальных картина И минимальных определяется сочетанием всех трех факторов, но особенности строения и состава образца обусловливают доминирование того или иного фактора. При этом общая закономерность сохраняется, когда наибольшие градиенты значений связаны с гидравлически и акустически активным трещинам и контактами разновидностей пород.

Таким образом, метод ультразвукового прозвучивания сухих и водонасыщенных керновых образцов и двухмерной визуализации полученных данных позволяет провести в полевых условиях экспрессную оценку пространственного распределения основных гидравлически активных трещинно-поровых каналов в породах. Детализация этих данных проводится в лаборатории по следующим направлениям: 1) Визуализация неоднородностей упругих свойств пород при одноосном сжатии керновых образцов для выявления не только гидравлически, но и механически активных структурных элементов, а также определения динамики их развития при воздействии внешних нагрузок с использованием метода акустической эмиссии; 2) Статистический анализ двумерных цифровых изображений ориентированных шлифов с определением координат неоднородностей и последующим расчетом их апертуры, протяженности, трещинной пористости и проницаемости. В качестве неоднородностей выступают плоскости газо-жидких включений, отражающие динамику палеопроницаемости пород, и открытые микротрещины, формирующие пространство, доступное для современной фильтрации флюидов и миграции вещества. Это позволяет моделировать процессы фильтрации газожидкой фазы в обстановках палео- и современных полей напряжений.

# Новейшая сдвиговая тектоника Нижнего Прииртышья

### А.И. Некрасов

ООО «Научно-производственное предприятие геологического моделирования «ГЕОСЕЙС», г. Тюмень, nekr\_ai@geoseis.ru

Для реконструкции неотектонических напряжений проводилось дешифрирование материалов со спутника Ландсат-7 в масштабе 1:200000, что определялось масштабом структурных построений сейсморазведочных работ.

Из общего числа линеаментов по отношению к складкам опорного сейсмического отражающего горизонта Б (нижний мел) выделялись конкордантные и дискордантные структуры, а также линеаменты, соответствующие планетарной трещиноватости (близкие к азимутам 0°, 45°, 90°, 135°).

Конкордантные трещинные структуры являясь соскладчатыми обязаны своим происхождением подвижкам блоков фундамента и связаны с локальными неотектоническими напряжениями.

По дискордантным линеаментам воостанавливается поле сдвиговых напряжений с субширотной ориентировкой оси сжатия (280°) и субмеридиональной – оси растяжения (15°).

Планетарное поле напряжений характеризуется сдвиговым типом с субмеридиональной осью сжатия и субширотной осью растяжения.

Линеаменты планетарного и, условно, регионального полей хорошо корреспондируются с геометрическим обликом сейсмической отражающей поверхности горизонта А (подошва отложений чехла), что предполагает сдвиговый контроль деформационной обстановки, нашедшей отражение в морфологии поверхности доюрского основания.

Анализ строения поверхности выявляет отражение в геометрическом наборе элементов морфологии простираний, закономерных для набора ориентировок разрывов сдвиговых зон.

Планетарными напряжениями в течение мезозойско-кайнозойского этапа определялись области аккумуляции осадков в бассейне. Накопление мощных толщ локализовано во впадинах, чья ориентировка соответствует положению структур растяжения, определяемым планетарным полем тектонических напряжений. Перемещения структурных доменов прогибания и сжатия (тектонических блоков) компенсировали сдвиговые напряжения и контролировали распределение накапливающихся осадков в бассейне. Блоковое деформирование верхней коры сопровождалось формированием двух основных сдвиговых систем — северо-западной системы правых сдвигов и северовосточной системы левых сдвигов, а также комплементарной им сети локальных субмеридиональных структур растяжения (впадины) и субширотных структур сжатия (поднятия), способствующей реализации напряжений. Для мезозойско-кайнозойского этапа (за исключением неоген-четвертичного вре-

мени) территория характеризовалась устойчивостью своих структурных планов.

Иная тектоническая обстановка выявляется для среднемиоценчетвертичного времени.

Синкинематичным в регионе является комплекс отложений среднемиоценчетвертичного возраста, отделенный от подстилающих отложений резким размывом и являющийся по существу верхним структурным ярусом геосинеклизы. Строение среднемиоцен-четвертичного комплекса сложное и отличное от более древних комплексов чехла. Оно связано с характером залегания формирующих комплекс литоциклов (серий, ритмосвит). Для последних характерно вложенно-прислоненное залегание более молодых толщ на древних, тогда как для досреднемиоценовых преобладает наложенный характер залегания.

С проявлениями тектонической активности связаны этапы регрессивного развития, когда формировалась врезанная гидросеть, долины которой в последующий «спокойный» трансгрессивный этап заполнялись осадками, формируя поверхности выравнивания. Это обстоятельство свидетельствует о временной ритмике, импульсности неотектогенеза.

Неотектонически левобережная часть территории приподнята, но преобладают здесь гипсометрически низкие поверхности Кондинской низменности; в противоположность, правобережная часть опущена, но преобладают здесь гипсометрически высокие уровни рельефа. Обращенный рельеф территории свидетельствует об отставании в воздымании впадин от смежных с ними положительных новейших структур. Эта инверсия свидетельство унаследованности тектонического развития.

Поскольку очертания крупных элементов рельефа территории подчинены решетке линеаментов, отражающей трещинные структуры, то очевидна тектоническая предопределенность этих контуров.

В изолиниях поверхности отражающего горизонта А, оконтуривающих осложнения крупных структурных форм (планетарного контроля) вычитываются направления, характерные для систем сопряженных сколов, возникающих в сдвиговых разломных зонах ранних стадий развития [1]. В пространственном положении последние располагаются закономерно относительно вектора сжатия и представлены разрывами 2-го порядка. Направления, осложняющие структуры горизонта А, отражают разрывы растяжения, сколы сжатия, R-сколы, P-сколы.

Проявления разрывов 2-го порядка в морфологии сейсмического горизонта A, отражающих тектонофизические закономерности внутреннего строения сдвиговых зон, имеют большое значение для интерпретации материалов сейсморазведки 2Д (трассирование разрывных нарушений).

Разрывные нарушения, выявленные сейсморазведочными работами ЗД, проведенными на одном из лицензионных участков, подтвердили правиль-

ность тектонофизической интерпретации разрывов 2-го порядка по отражающему горизонту А, построенному по материалам 2Д.

Таким образом, синтез результатов дешифрирования данных дистанционного зондирования и морфологических параметров отражающего сейсмического горизонта А позволил выявить закономерности в размещении разрывных нарушений, раскрыть их кинематику и динамический режим неотектонического развития территории.

Предполагается, что специфика современных геодинамических условий заключается в доменном характере деформирования осадочного чехла, связанного с разрывами и движениями в разломных зонах верхней коры.

## Литература

1. Семинский К.Ж. Внутренняя структура континентальных разломных зон. Тектонофизический аспект. Новосибирск: Изд. СО РАН. Филиал «Гео». 2003. 244 с.

# Деструкция земной коры и процессы самоорганизации в областях сильного техногенного воздействия

# В.Н. Опарин<sup>1</sup>, А.В. Леонтьев<sup>1</sup>, А.А. Козырев<sup>2</sup>, А.Д. Сашурин<sup>3</sup>, А.Ф. Еманов<sup>4</sup>

- 1 Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск, admin@misd.nsc.ru;
- <sup>2</sup> Горный институт Кольский НЦ РАН, г. Апатиты, kozar@goi.kolasc.net.ru;
- <sup>3</sup> Горный институт УрО РАН, г. Екатеринбург, sashour@igd.uran.ru;
- <sup>4</sup> Алтае-Саянский филиал ГС СО РАН, г. Новосибирск, emanov@gs.nsc.ru

Со второй половины XX века в науках о Земле происходит радикальный пересмотр взглядов на роль и место современных геодинамических явлений, как в фундаментальной сфере, так и в прикладных проблемах, связанных с недропользованием. Одна из особенностей современного этапа развития земной цивилизации связана с возрастанием риска возникновения катастроф, влекущих за собой значительные социально-экономические утраты и многочисленные человеческие жертвы. По данным ООН в 60-х годах прошлого столетия ущерб от природно-техногенных катастроф составил 40 миллиардов долларов, а в 90-х годах он достиг 280 миллиардов долларов. В России ежевозникает около 1000 чрезвычайных ситуаций, катастрофами природно-техногенного характера. Наиболее распространенной причиной развития катастроф на объектах недропользования является совместное воздействие современных геодинамических движений и интенсивной техногенной деятельности.

Техногенные землетрясения проявляются, как правило, на месторождениях, где в отработку вовлечены большие площади с извлечением и перемещением значительных объемов горной массы. Важнейшим итогом геомеханико-геодинамических исследований минувшего века явилось обнаружение тесной взаимосвязи между глобальными геодинамическими и локальными геомеханическими процессами, обусловленными ведением горных работ, особенно в тектонически активных зонах. Крупным результатом таких исследований явилось также заключение о фундаментальной роли блочно-иерархического строения горных пород и массивов для объяснения существования широкой гаммы нелинейных геомеханических эффектов и возникновения сложных самоорганизующихся геосистем.

В результате обобщения данных долговременных натурных геомеханико-геофизических измерений на рудниках Талнахско-Октябрьского месторождения полиметаллов установлено что основные геомеханические процессы взаимодействия рудных, породных и закладочных массивов при отработке пластов залежей в достаточно широком диапазоне глубин контролируются явлением зональной дезинтеграции горных пород, но уже в масштабе шахтных полей. Развитие этого процесса весьма существенно сказывается на общей производительности ведения горнодобычных работ на рудниках этого

крупнейшего в мире медно-никелевого месторождения. В этой связи представляет большой теоретический и практический интерес ответ на вопрос: наблюдаются ли крупномасштабные зонально-дезинтеграционные процессы при отработке угольных месторождений Кузбасса.

Один из сложных и трудно прогнозируемых природных процессов - кар-Предприятия горнодобывающей стообразование. отрасли, сооружения трансрегионального назначения (продуктонефтепроводы, магистральные газопроводы, железные и автомобильные дороги) - факторы техногенного прессинга на закарстованные области. Последние чрезвычайно чувствительны к таким техногенным воздействиям, как изменение свойств породного массива вследствие горных работ, вибродинамические возмущения грунтовых оснований, утечки из водонесущих коммуникаций, откачка подземных вод и т.д. Однако в России до сих пор не приняты единые специальные и обязательные нормативы по инженерным изысканиям для строительства на закарстованных территориях. Отсутствуют методики прогноза деформаций земной поверхности под влиянием карстовых процессов. Аналогичная ситуация имеет место и за рубежом. Объясняется это весьма сложной природой обозначенных выше явлений.

При эксплуатации одного из крупнейших гидросооружений Саяно-Шушенской ГЭС в режимных параметрах установлены незатухающий характер процесса деформирования системы «плотина — основание», а также прогрессирующее разуплотнение в зоне контактного шва и в бетоне напорной грани плотины. Нарушения устойчивости элементов инженерных сооружений такого класса, как СШ ГЭС, вызванные природными и техногенным воздействиями, могут привести к последствиям, по масштабам сопоставимым с экологическими катастрофами. Поэтому гидротехнические сооружения требуют постоянного контроля технического состояния и, следовательно, создания системы технического мониторинга, особенно в эксплуатационный период в связи с незатухающим процессом стабилизации системы «плотина — основание».

В мире, как и в России, пути решения проблемы преодоления последствий сильных и катастрофических землетрясений связаны с решением вопросов прогноза землетрясений. Эффективность таких подходов невелика, поскольку они являются «пассивными» по своей природе. В ИЗК СО РАН в течение ряда лет изучается возможность разработки альтернативных подходов к решению проблемы профилактики землетрясений путем разработки способов управлениями деформациями в зонах сейсмоопасных разломов. Возможность техногенного управления деформациями в разломах открывает путь к управлению высвобождением сейсмической энергией недр, а следовательно и контролю над этим природным процессом с применением техногенных средств, доступных человеку в настоящее время.

В настоящее время накоплено достаточно сведений, свидетельствующих о двух важнейших особенностях эволюции геологической среды: механиче-

ские перемещения вещества происходят на любых пространственных и временных масштабах; доступное изучению вещество внутренних областей Земли образует блочно-иерархическую структуру. Важный этап в понимании формирования и развития иерархии структурных уровней деформации в твердых телах достигнут благодаря теоретическим и экспериментальным результатам, проведенным на образцах. Если в равновесных системах диссипативные процессы уничтожают любую упорядоченность, то в нелинейных динамических системах диссипация совместно с другими процессами приводит к возникновению структур. Оказалось, что для решения многих конкретных задач геофизики необходимо ответить на вопросы: каковы механизмы возникновения пространственно-временной упорядоченности в нелинейных средах? существуют ли эффективные способы обнаружения структур и управления процессами в этих диссипативных системах?

Закономерности проявления сейсмичности в тех или иных регионах Земли в значительной степени определяются особенностями строения, источниками энергии движения горных масс, а также техногенным воздействием человека на земную кору. Процессы деструкции земной коры, в частности в Алтае-Саянской горной области, ярко проявляются в его сейсмичности, которая хорошо увязывается с блочно-ячеистой структурой региона, взаимным расположением образующих ее хребтов и межгорных впадин. В настоящее время актуальными являются исследования по определению основных закономерностей самоорганизации сейсмического процесса в отдельных областях и оценке влияния техногенного воздействия на формирование их сейсмичности.

Исследованиям по упомянутым и многим другим смежным проблемам посвящены совместные работы ученых группы институтов и организаций горного профиля страны, объединенных комплексными интеграционными проектами. В докладе сообщается о предварительных результатах исследований, полученных в период 2006–2007 гг.

Работа выполнена при финансовой поддержке РАН (Программа Президиума РАН № 16.3) и СО РАН (Интеграционный проект № 6.18)

# Природные и техногенные изменения напряженно-деформированного состояния пород на урановом месторождении в гранитах

# В.А. Петров<sup>1</sup>, В.В. Полуэктов<sup>1</sup>, Р.М. Насимов<sup>2</sup>, С.И. Щукин<sup>3</sup>, Й. Хаммер<sup>4</sup>

- <sup>1</sup> Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г. Москва, vlad@igem.ru
- <sup>2</sup> Институт физики Земли РАН, г. Москва, nasimov@ifz.ru
- <sup>3</sup> OAO «ППГХО», г. Краснокаменск, geol@krasnokamensk.ru
- <sup>4</sup> Федеральное ведомство по геонаукам (БГР), г. Ганновер, Германия, j.hammer@bgr.de

Месторождение Антей в ЮВ Забайкалье — важнейший объект добычи урановорудного сырья. Оно локализовано в палеозойском (250 млн. лет) гранитном основании Тулукуевской кальдеры, сформированной в процессе позднемезозойской (135 млн. лет) тектоно-магматической активизации региона. Верхние части рудных тел расположены на глубине 400 м, а их низы прослежены на глубине 1300 м. Горнопроходческая деятельность постепенно переходит на все более глубокие горизонты разреза, что определяет необходимость комплексной оценки перспектив месторождения. Представлены результаты изучения напряженно-деформированного состояния (НДС) пород на четырех нижних горизонтах (9–12, глубина от 500 до 700 м) горных выработок. Показано, что вариации НДС среды обусловлены сочетанием природных и техногенных факторов, которые необходимо учитывать в прогнозных оценках.

Ведущие элементы каркаса разрывных нарушений – субпараллельные зоны разломов 160 и 13 ССВ-ЮЮЗ (25-30°) простирания и встречного падения. Зона разлома 160 (основная рудовмещающая структура) состоит из нескольких копланарных швов, формирующих эшелонированный левосторонний сдвиг. Суммарная амплитуда горизонтальных смещений, исходя из «расхождения» разрывов с одновозрастной минерализацией, достигает 40 м, а вектор смещения полого (10–20°) склоняется к CB, что установлено по ориентировке борозд и штрихов скольжения. Разлом экранируется по восстанию пологими срывами на границе фундамента и вулканогенного чехла кальдеры. Зона разлома 13 также состоит из нескольких кулисообразных швов, которые смещают контакт структурных этажей фундамента и чехла с амплитудой до 20 м, рассекают чехол кальдеры и трассируются на поверхности. Наибольшее развитие швы получили к концу гидротермального процесса - вдоль них прослеживается полоса жил и прожилков пострудных минералов. На гор. 12 разломы 160 и 13 сливаются в единую структуру, формируя «тектонический клин» с наиболее дезинтегрированным по сравнению с окружающими породами внутренним пространством.

Реконструкция динамики изменения тектонического поля напряжений (ТПН) в горном массиве показала, что каркас разрывов формировался в тече-

ние четырех этапов тектогенеза, три из которых протекали в геологическом прошлом, а четвертый – современный. На этих этапах происходили: переориентировка осей главных нормальных и скалывающих напряжений, изменение характера НДС пород, смена направлений перемещений вдоль разрывов и обстановок минералообразования. Первый этап восстанавливается по линейвысокотемпературных калишпатитов-альбититов, дорудных сформированных при субширотной ориентировке оси максимального сжатия  $(\sigma_1)$ . Второй этап объединяет по времени процессы предрудной гидрослюдиальбит-гематитовых рудосопровождающих изменений рудообразования. Исходя из морфологии рудных тел, на этом этапе при С3- ${\rm IOB}$  ориентировке оси  $\sigma_1$  по зоне разлома 160 происходили левосторонние сдвиги с последовательным заполнением рудным веществом полостей разрывов, расположенных в плоскости  $\sigma_1 \sigma_2$ . Тектонические напряжения были сосредоточены в зоне разлома 160, а разлом 13 находился в его «деформационной тени». Третий этап тектогенеза связан с перестройкой ТПН, когда ориентировка оси σ<sub>1</sub> изменилась на 90° и траектории сжимающих усилий протянулись в СВ-ЮЗ направлении. Этот этап ассоциируется с концентрациосновных напряжений В зоне разлома 13, выходом «деформационной тени» разлома 160 к концу гидротермального процесса и максимальным развитием жил и прожилков минералов (каолинит, смектит) пострудной стадии. Учитывая факт смещения разломом 13 контакта фундамента и вулканогенного чехла, а также ориентировку оперяющих разрывов, выполненных пострудной минерализацией, тип перемещений вдоль зоны разлома интерпретируется как правосторонний сдвиг или сдвиго-сброс. Четвертый (современный) этап тектогенеза унаследует основные черты предыдущего этапа, когда траектории максимальных сжимающих усилий протягиваются в СВ-ЮЗ направлении. В региональном плане это отражается в сдвиговом характере современного поля напряжений, а в масштабе месторождения СВ-ЮЗ направление сжатия реконструируется по деформациям контуров вертикальных горных выработок и ориентировке штрихов скольжения в свежем глинистом выполнении ядра разлома 13.

Известно, что изучение деформаций стенок скважин, шахт, восстающих и рудоспусков — один из наиболее простых и точных методов определения ориентировки осей действующих в горном массиве напряжений. Скорость изменения контуров и степень (вид) разрушения стенок зависят от физикомеханических свойств пород, их текстурных характеристик, магнитуды напряжений и т.д. Ключевой момент анализа состоит в том, что разрушение стенок происходит в секторах, расположенных ортогонально к оси максимального горизонтального стресса (S<sub>H</sub>). Наши наблюдения показали, что на уровне гор. 9 ось S<sub>H</sub> ориентирована под углом 50°, а на уровне гор. 12 — под углом 80° к линии меридиана. Следовательно, на вертикальном интервале около 180 м в разрезе массива происходит переориентировка оси S<sub>H</sub> на 30°.

Поэтому, если на гор. 9 разрушаются, в основном, СЗ и ЮВ секторы выработок, то на уровне гор. 12 деформации концентрируются в северных и южных секторах и стенках горных выработок. Изучение элементов залегания штрихов скольжения в невыветрелом глинистом выполнении ядра разлома 13 на гор. 9 показало, что близкие по времени к современным перемещения могут интерпретироваться и как левосторонний сбросо-сдвиг, и как правосторонний взбросо-сдвиг. Первый вариант менее вероятен, учитывая СЗ-ЮВ ориентировку оси S<sub>н</sub>, но не исключается из-за возможности разнонаправленных перемещений копланарных сегментов разлома. Обычно предполагается, что уровень тангенциальных напряжений и, соответственно, вероятность развития сдвиговых дислокаций в разрывах с глубиной уменьшается. Однако теоретические закономерности нередко нарушаются, когда с глубиной предрасположенность разрывов к сдвигу возрастает из-за переориентировки плоскостей сместителей и изменения угла их встречи с осью  $S_H = \sigma_1$  (при сдвиговом тектоническом режиме). С учетом этого, на глубоких горизонтах месторождения в условиях правостороннего сдвига и при ориентировке оси S<sub>н</sub> под углом 80° к линии меридиана вероятность разноамплитудных сбрососдвиговых перемещений вдоль отдельных сегментов разломов 13 и 160 может возрастать.

Для определения характера перемещений сопряженных крыльев разломов необходим статистически значимый набор данных. Но даже его наличие не позволяет ответить на важнейшие для понимания геодинамики массива вопросы: абсолютные значения (магнитуда) напряжений; приуроченность узлов концентрации и рассредоточения напряжений к конкретным структурным элементам; скорость перемещений по разломам и их амплитуда; частота и продолжительность дислокационных событий и т.д. К тому же в разрезе массива изменяется не только ориентировка оси максимального горизонтального стресса. В связи с нарастанием литостатической нагрузки и неоднородностью петрофизических свойств пород с глубиной будет неизбежно изменяться магнитуда напряжений и общая геодинамическая ситуация, как это наблюдается в подземных исследовательских лабораториях Гримзель (Швейцария), Уайт Шел (Канада) и Аспё (Швеция), расположенных в гранитах. Поэтому на различных гипсометрических уровнях месторождения необходимо провести мониторинг геомеханических процессов инструментальными методами с увязкой получаемых параметров в трехмерной геологической модели. Без этих эмпирических данных любые расчетные математические модели геодинамики массива будут иметь скорее теоретическое значение, практическое применение.

# Тектонофизический анализ разломной сети месторождения "трубка Юбилейная"

## И.А. Потехина<sup>1</sup>, И.В. Маковчук<sup>2</sup>

1 - Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, ip@crust.irk.ru

Горные выработки, вскрывающие рудные тела представляют собой уникальные объекты для прямого изучения геологического и тектонического строения месторождений алмазоносных трубок. Постановка на этих участках специализированных тектонофизических исследований позволяет на качественно новом уровне показать, что разломная тектоника играет существенную роль в размещении кимберлитовых тел и, в конечном счете, разработать модели локального структурного контроля.

Настоящая работа посвящена результатам тектонофизических исследований выполненных в карьерном поле месторождения "трубка Юбилейная". Выбор данного месторождения для изучения во многом определялся тем, что его карьерное поле, в отличие от других коренных месторождений алмазов на Сибирской платформе (трубок Мир, Интернациональная, Удачная, Сытыканская и Айхал), находится в стадии развития. Это позволило нам проводить последовательное изучение тектонической трещиноватости и разрывных нарушений по мере вскрытия и углубления горизонтов карьеров. При этом для наблюдений оказываются доступны не только вмещающие и перекрывающие породы, но и кимберлитовая трубка.

Всего в пределах карьерного поля было создано около 500 точек наблюдений в которых проведено детальное изучение тектонической трещиноватости и разрывных структур более масштабных рангов. При этом, помимо измерения элементов, характеризующих пространственное положение дизьонктивов, характеризовались особенности их структурного строения и вещественного заполнения, морфология сместителей, а также основные количественные параметры. Использование подобного подхода к организации работ позволяет собрать информацию, достаточную для реализации ряда полевых тектонофизических методов, которые позволили закартировать и охарактеризовать внутреннее строение разрывных нарушений (Семинский, 2003), а также восстановить положение осей главных нормальных напряжений (Гзовский, 1975; Николаев, 1977; Данилович, 1961).

Юбилейная Полученные данные, свидетельствуют, что трубка локализована в зоне субширотного разлома, фрагмент которого вскрывается карьером. Определяющую роль В его строении играют субвертикальных зон разрывных нарушений восток - северо-восточной и север – северо-западной ориентировок. Вторыми по значимости являются дизъюнктивы север – северо-восточного и северо-восточного простираний.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> – Айхальский ГОК, АК "АЛРОСА" ЗАО, п. Айхал

строения Зафиксированные особенности наиболее широких 30H субвертикальных разрывных нарушений, такие кулисообразное как ИХ крупных расположение составляющих сколов, указывают преимущественно сдвиговую их кинематику. При этом, во многих случаях, отмечается наложение кулис разных направлений, свидетельствующее о том, формирование происходило в течение нескольких знаменовавшихся сменой знака движения. На итоговой схеме разрывной сети левосдвиговые смещения север северо-западных зонам \_ северо-восточного восток предположительно, небольшой сбросовой компонентой.

восстановления осей главных нормальных напряжений. выполненные по массовым замерам трещин с использованием известных методических приемов (Николаев, 1977; Данилович, 1961) показывают наличие решений трех типов: одно соответствует СВ сжатию - СЗ растяжению, второе – прямо противоположное: СЗ сжатие – СВ растяжение, и наконец, третье – отвечает субмеридиональному сжатию и субширотному растяжению, что свидетельствует о, как минимум, трехэтапной истории формирования и активизации разрывной сети, вмещающей Юбилейная. На это указывают также многочисленные признаки активизации субвертикальных и субгоризонтальных разрывов: как во вмещающих породах, так и в кимберлитовом теле, где наблюдаются наложенные зоны дробления и повышенной трещиноватости, а также иногда зеркала и штрихи скольжения на плоскостях трещин.

Зафиксированные особенности строения трещинной сети на участке работ позволяют выделить два структурных парагенезиса, формирование которых связывается со сдвиговыми движениями в зоне субширотного разлома. Один из них включающий субвертикальные сдвиговые дизьюнктивы востоксеверо-восточной (R-сколы), север - северо-восточной (R`-сколы) ориентировок, а также взбросы северо-западного (t-разрывы) и сбросы северовосточного (п-разрывы) простираний отвечает полю напряжений характеризующемуся СВ направлением сжатия и СЗ растяжения. Другой, состоящий из субвертикальных сдвиговых разрывов запад - северо-западного (R-сколы) и север - северо-западного (R`-сколы) направлений, а также взбросов северовосточного (t-разрывы) и сбросов северо-западного (n-разрывы) простираний, соответствует полю с СВ ориентировкой сжатия и СЗ – растяжения. Предполагается, что более древний этап характеризовался СВ ориентировкой оси сжатия и СЗ – растяжения поскольку структуры растяжения (п-разрывы) этого этапа имеют направление, совпадающее с длинной осью трубки и, повидимому, именно они являются рудовмещающими.

Итогам тектонофизического анализа стала структурная модель формирования кимберлитовой трубки Юбилейная, которая описывает развитие разрывной сети преимущественно в пределах субширотной разломной зоны. Она предполагает, что на первом этапе движения в зоне субширотного раз-

лома характеризовались левосдвиговой кинематикой и происходило становление R'-сколов север - северо-западного направления и R-сколов восток северо-восточной ориентировки. Их взаимодействие на одном из участков привело к формированию пулл-апарта с последующим преобразованием в структуру типа "цветка растяжения". С этим этапом, по-видимому, связано внедрение основной массы кимберлитов и формирование раструба трубки. На втором этапе, смена действующего поля напряжений на прямо противоположное, вызвало как активизацию сформированных ранее разрывных структур, так и формирование элементов нового парагенезиса (север северо-восточные R'-сколы и запад – северо-западные R-сколы). При этом наблюдалась смена знака движений по восток – северо-восточным нарушениям (они активизировались как правые сдвиги). Структуры, сформированные на участке их взаимодействия оказались в обстановке сжа-"цветка растяжения" развивается дуплекс характеризующийся выжиманием материала в его пределах и развития надвиговых структур по краям. С моментом смены поля напряжений и началом развития структур сжатия, за счет выжимания расплава из более глубоких горизонтов могла, быть связана одна из заключительных фаз внедрения кимберлитов. И, наконец, третий этап, характеризующийся субмеридиональным сжатием – субширотным растяжением является посттрубочным. Он знаменуется активизацией сети разрывов сформированных на предыдущих этапах и образованием новых разрывов преимущественно в перекрывающих отложениях, а также тектоническим подновлением контактов и развитием нарушений в пределах трубки.

Работа выполнена при финансовой поддержке АК АЛРОСА (ЗАО).

- 1. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: Наука. 1975. 536 с.
- 2. Данилович В.Н. Метод поясов в исследовании трещиноватости, связанной с разрывными смещениями. Иркутск: 1961. 48 с.
- 3. Николаев П.Н. Методика статистического анализа трещин и реконструкция полей тектонических напряжений // Изв. вузов. Геология и разведка. 1977. № 12. С. 103-116.
- 4. Семинский К.Ж. Внутренняя структура континентальных разломных зон. Тектонофизический аспект. Новосибирск: Изд. СО РАН, Филиал Гео. 2003. 244 с.

# Тектонофизическая интерпретация разрывных нарушений в чехле Западно-Сибирской геосинеклизы

#### И.П. Сапчук

OOO «Лаборатория новых технологий в нефтяной геологии «Петрограф», г. Тюмень, sap\_ip@geoseis.ru

Главный вклад разрывных нарушений в фильтрационно-емкостные свойства коллекторов – повышение проницаемости. Скважины, попавшие в зоны трещин, дают главную долю всей накопленной добычи углеводородов. Отсюда – значение выявленных разрывных нарушений на ранних стадиях разведки месторождений. Получение надежных результатов по трещиноватости отложений в сейсморазведке связано со значительными денежными и трудовыми затратами. Поэтому рациональным является включение в комплекс работ дистанционных методов.

Сети линеаментов, выявляемые путем визуального дешифрирования космических снимков различных масштабов, представляют собой хаотические структуры. Образование разрывных сетей связано с разрядкой частных полей тектонических напряжений разного ранга, обусловленных различными силами новейшей активизации.

Так, трещинные структуры планетарного поля напряжений проявляются на различных масштабных уровнях в направлениях, близких к меридиональному (0°), широтному (90°), северо-восточному (45°) и северо-западному (315°).

Для выявления и реконструкции других полей тектонических напряжений используются сопряженные сколовые трещинные системы, выявляемые из сетки линеаментов в результате применения ряда процедур.

Соотношение рисунка линеаментов со складками чехла позволяет разделять трещины отрыва, являющиеся конкордантными и сколовую, дискордантную, трещиноватость. Сопряженные системы дискордантных трещин выявляются при анализе гистограмм простираний линеаментов в виде пары максимумов ориентировок с разбросами, направленными в противоположные стороны. Ось сжатия совпадает с биссектрисой угла между вершинами максимумов ориентировок со стороны наименьшего разброса, а ось относительного растяжения — со стороны максимального разброса ориентировок линеаментов [1].

В регионе для территорий различных масштабных рангов, расположенных от Ямала до Иртыша были восстановлены поля тектонических напряжений. Оси главных нормальных напряжений этих полей имеют близкую, однонаправленную ориентацию: оси сжатия и растяжения направлены, соответственно, по азимутам: 280–285° и 10–15° и характеризуют, по нашему мнению, региональное поле тектонических напряжений.

Очевидное совпадение рисунка линеаментов планетарного и регионального полей сдвигового типа с очертаниями морфологических элементов структурной поверхности доюрского основания различных масштабных уровней свидетельствует об общем динамическом режиме деформирования основания и чехла.

Конкордантными к пликативным структурным элементам чехла являются одноранговые с ними линеаменты, ориентированные по линиям падения и простирания крыльев складок. Они являются трещинами отрыва и связаны с локальными напряжениями, возникающими при подвижках блоков фундамента.

Таким образом, на основании дешифрирования дистанционной информации выявлены новейшие трещинные структуры: сколовые — в зонах динамического влияния сдвигов и отрыва, формирующиеся в чехле совместно со складками поперечного изгиба. Последние пространственно сопряжены с зонами сжатия и растяжения, комплементарными левым и правым сдвигам.

Разрывные нарушения оказывают влияние на распределение ловушек и миграцию углеводородов, соответственно - на выбор оптимальных мест заложения проектных скважин.

#### Литература

1. Николаев П.Н. Методика тектонодинамического анализа М.: Недра. 1992. 295 с.

## Учет тектонических напряжений в экспертной оценке устойчивости горных выработок при подземной разработке рудных месторождений

#### И.Э. Семенова

Горный институт КНЦ РАН, г. Апатиты, innas@goi.kolasc.net.ru

На сегодняшний день наличие тектонических напряжений на большинстве месторождений в районах проходящих горообразовательных процессов не вызывает сомнений. Кольский полуостров является одним из таких районов Земли. Учет этого фактора необходим как на разных стадиях отработки месторождений — от вскрытия и определения будущих систем разработки до планирования текущих горных работ и консервации рудников; так и на различных масштабных уровнях — от шахтного поля до отдельных блоков и одиночных выработок. Оценка устойчивости горных выработок при подземной разработке рудных месторождений не будет соответствовать действительности без учета горизонтальных тектонических напряжений, их абсолютных величин и направлений действия в плане.

Одним из эффективных подходов к решению данного вопроса является использование численных методов в комплексе с натурными измерениями и наблюдениями. Именно такой подход использован нами при разработке экспертной системы для прогнозной оценки изменения напряженного состояния массива пород с целью выбора технических решений по обеспечению безопасности и эффективности горных работ [1]. В качестве численного метода определения напряженно-деформированного состояния (НДС) массива пород выбран метод конечных элементов (МКЭ). Система Sigma3D, созданная в Горном институте КНЦ РАН, реализует моделирование НДС и предоставляет пользователю широкий спектр возможностей по проведению численных экспериментов, исследованию их результатов и принятию технических решений по повышению устойчивости выработок.

Прогноз устойчивости горных выработок и выдача рекомендаций по разгрузочным мероприятиям и вариантам крепления в соответствии с инструктивными документами [2] является заключительным этапом анализа расчетных напряжений. На предыдущих этапах с использованием методики последовательных приближений проводится моделирование поля напряжений вмещающего массива с учетом значимых горно-геологических и горнотехнических факторов, один из которых — действующие в массиве горных пород тектонические силы. Оценка устойчивости выработок по результатам прогноза напряженного состояния массива пород проводится по показателю отношения действующих напряжений на контуре выработки к прочности пород при одноосном сжатии  $\sigma_{\pi}/\sigma_{\rm cж}$  (табл. 1).

Таблица 1. Классификация категорий состояния горных выработок

| Категории<br>состояния<br>выработок | Напряженное состояние  |  |   |   |
|-------------------------------------|--|--|---|---|
|                                     | в устой-<br>чивых<br>породах<br>(Ік)   | в средне-<br>устойчивых<br>породах<br>(Пк)   | в слабо-<br>устойчивых<br>породах<br>(Шк) | Формы проявления горного<br>давления  |
| A                                   | σд≤0.3σсж  | ı  | ı   | Выработка сохраняет устойчивость<br>(разрушения и отслоения не наблюда-<br>ются)                                      |
| Б                                   | _  | $\sigma_{\!_{\! A}}\!$ |   | Вывалы по трещинам  |
| В                                   | $0.3\sigma_{c_m}\!\!<\!\!\sigma_{_{\! H}}\!\!<\!\!0.5\sigma_{c_m}$ в породах I — III категорий по трещиноватости |  |   | Постепенное хрупкое разрушение пород на контуре в виде шелушения и плитчатого расслоения пород, отслоения по трещинам |
| Γ                                   | $0.5\sigma_{\text{сж}} < \sigma_{\text{д}} \le 0.8\sigma_{\text{сж}}$ в породах І-ІІІ категорий трещиноватости   |  | -   | Стреляние пород, динамическое зако-<br>лообразование, интенсивное шелуше-<br>ние пород                                |
| Д                                   | $\sigma_{\!_{\! \! \! \! \! \! \! \! \! \! \! \! \! \! \! \! \! \!$  |  | _   | Интенсивные стреляние пород и дина-<br>мическое заколообразование, воз-<br>можны микроудары и горные удары.           |

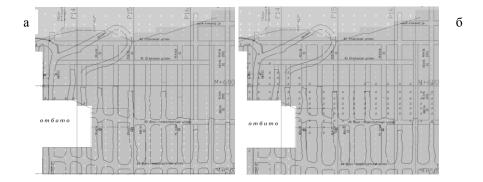
Напряжения на контуре выработки вычисляются по специально разработанной методике, учитывающей все три компоненты главных напряжений и девять углов их наклона относительно осей выработок. В качестве выходной графической информации могут выдаваться не только компоненты напряжений и деформаций и их векторное распределение, но и категории выработок (ортов и штреков) в буквенном отображении или как карты изолиний по любому горизонтальному или вертикальному сечению модели (рис. 1).

Наглядность таких карт обеспечивается автоматическим совмещением с соответствующими планами и разрезами горных работ.

Для уточненного прогноза НДС в окрестности конкретной выработки разработаны детальные конечно-элементные модели одиночной выработки, системы выработок и сопряжения горных выработок, граничные условия для которых (в виде узловых перемещений) рассчитываются для интересующей пользователя конфигурации очистных пространств. Возможна корректировка узлов модели для наиболее точного отображения сечений выработки например по результатам ультразвукового сканирования. Результаты расчетов по данным моделям позволяют спрогнозировать параметры разрушений на контуре выработки или изменение НДС в ее окрестности после проведения разгрузочных мероприятий.

Применение экспертных систем на удароопасных участках подземных рудников ОАО «Апатит» показывает хорошую сходимость расчетных категорий выработок с данными визуального обследования и успешно применяется для

текущего и перспективного прогноза удароопасности в течение нескольких лет.



**Рис.1.** Расчетные категории состояния выработок на гор. +236 м Кукисвумчоррского крыла Кировского рудника ОАО «Апатит» а) для ортов, б) для штреков

- 1. Козырев А.А., Енютин А.Н., Мальцев В.А., Семенова И.Э. Методика регионального прогноза удароопасности и состояния массива пород и выбора технических решений по обеспечению безопасности и эффективности горных работ // Наука производству. К 75-летию КНЦ РАН. 2005.
- 2. Указания по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам. Апатиты: 2002. 97 с.

#### Новейшие и современные сдвиги платформ северной Евразии

#### Л.А. Сим

Институт физики Земли РАН, г. Mocква, sim@ifz.ru

Многолетнее полевое исследование разломов платформ показало, что большинство из них является сдвигами, что позволило разработать структурно-геоморфологический (СГ) метод реконструкции неотектонических напряжений [3, 4]. Согласно СГ методу, если взаимная ориентировки мегатрещин (мелких прямолинейных элементов рельефа) и линеамента, дешифрируемые на фотоснимках или топокартах соответствуют одному из вариантов ориентации оперяющих трещин в зоне сдвига, приведенных в работе М.В. Гзовского [1], то принимается, что: линеамент и мегатрещины имеют разломную природу; восстанавливаются ориентации оси  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  в горизонтальной плоскости; определяется знак сдвигового перемещения (правый или левый) по разлому и геодинамическая обстановка (сжатия или растяжения) формирования сдвига в осадочном чехле над активизированным разломом фундамента. Возраст поля напряжений определяется по возрасту отложений, нарушенных оперяющими разрывами-мегатрещинами. Подтверждением наличия сдвигов на платформенных плитах служит их обнаружение по данным сейсмики 3Д на месторождениях углеводородов в Западной Сибири [2], а также единичные данные о механизмах очагов землетрясений (Осмуссаарское, Калининградское).

Данные о современных движениях платформ показывают, что к разломам приурочены «суперинтенсивные деформации» дневной поверхности (Кузьсовременных движений 2006). измерения зафиксировавшие и горизонтальные компоненты перемещений (Леонтьев, 2005). Разломная природа мегатрещин в зонах сдвигов в осадочном чехле платформ подтверждается и данными математического и физического моделирования (Ребецкий, 1987; Михайлова, 2007). С помощью СГ метода составлены карты новейших разломов и тектонических напряжений Восточно-Европейской платформы и структур обрамления, Западно-Европейской (ЗЕП), Тимано-Печорской (ТПП), Скифской и севера Западно-Сибирской (ЗЕП) плит [4, 5]. Платформенные структуры северной Евразии по данным реконструкции тектонических напряжений делятся на области с разными типами региональных полей неотектонических напряжений. Обширные территории Русской плиты (за исключением западной части структуры) вместе с ТПП и Скифской плитой, а также севером ЗСП характеризуются региональнапряжений с субмеридиональными осями субширотными - растяжения. Такое же поле напряжений характерно и для Полярного Урала, заключенного между ТПП и ЗСП; сдвиговые перемещения здесь подтверждаются дислокациями в водно-ледниковых четвертичных отложениях [5]. ЗЕП и запад ВЕП характеризуется ЗСЗ и широтными ориентировками осей сжатия и, соответственно, субмеридиональными осями растяжения, которые согласуются с современным полем напряжений по данным механизмов очагов землетрясений Балтийского щита. Между областями с субширотной и субмеридиональной ориентировками осей сжатия выделяется зона неустойчивых неотектонических напряжений, состоящая из двух ветвей.

Первая ветвь примерно совпадает на севере с границей между Балтийским щитом и Русской плитой, далее на юг она проходит субмеридионально по западному крылу Белорусской антеклизы практически до Восточных Карпат. Вторая ветвь зоны в целом субширотна и проходит по южному крылу Белорусской антеклизы, далее на восток она приобретает ССЗ ориентировку, примерно повторяя ЮЗ границу Воронежской антеклизы. В первой ветви зоны неустойчивых неотектонических напряжений выделяется специфическая область, внутри которой большинство разломов формируется в обстановке растяжения, кроме этого, по отдельным разломам в этой области восстанавливаются противоречивые направления сдвиговых смещений, т.е. по ним возможны как правосторонние, так и левосторонние перемещения на одних и тех же отрезках разломов, а ориентация оси сжатия может быть как широтной, так и меридиональной. Выделенная область приурочена к побережью Балтики. Механизмы в очагах Осмуссаарского и Калининградского землетрясений, произошедших в этой области, с соответственными субширотной и субмеридиональной осями сжатия, свидетельствуют о том, что специфика неотектонических напряжений в описываемой области характерна и для современного этапа. Обстановка растяжения в этой области, вероятно, связана с процессами формирования молодых грабенов Балтийского щита, а смена ориентации оси сжатия предположительно может быть обусловлена попеременной активизацией грабенов субмеридионального Ботнического и широтного Финского заливов.

Вторая ветвь неустойчивых неотектонических напряжений является северной границей области, характеризующейся меняющимися ориентировками осей сжатия. Эта область охватывает целиком Украинский щит и распространяется вплоть до юго-западных склонов Воронежской антеклизы. Кроме положения этой области в приграничной зоне между крупными частями платформенных структур с разным типом напряженного состояния, возможна и другая причина неустойчивости в ней неотектонических напряжений. Она связана с ограничениями используемой методики в областях развития древних отложений, т.к. в них дешифрируются и более древние, не активизированные мелкие разрывы, не отличимые от оперяющих разломов новейших сдвигов. Так, при реконструкции неотектонических напряжений восточной части Балтийского щита в масштабе 1:200000 СГ методом уверенно удалось определить ориентации осей сжатия и растяжения только по отдельным разломам, которые являются сейсмоактивными и их новейшая активизация не

вызывает сомнения [4]. Граница областей с разными типами полей напряжений коррелируется с изменчивостью мощностей литосферы, теплового потока [6], поэтому можно утверждать, что восстановленные неотектонические напряжения связаны глубинным строением исследованной территории. Влияние орогенеза Урала и Карпат на неотектонические напряжения платформ незначительно, при этом ширина зоны влияния Восточных Карпат на Русскую плиту более существенна, чем Западных Карпат на ЗЕП. Возможно, это связано с проворотом Карпат по часовой стрелке, который должен приводить к концентрации сжимающих напряжений в Восточных Карпатах. Субширотное сжатие на западе исследованной территории обусловлено влиянием спрединга в Северной Атлантике, а субмеридиональное на севере ВЕП и ЗСП, включая Полярный Урал – раскрытием Арктического бассейна.

- 1. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: Наука. 1975. 535 с.
- 2. Гогоненков Г.Н., Кашик А.С., Тимурзиев А.И. Горизонтальные сдвиги фундамента Западной Сибири // Геология нефти и газа. 2007. № 3.
- 3. Сим Л.А. Йзучение тектонических напряжений по геологическим индикаторам (методы, результаты, рекомендации) // Изв. вузов. Геол. и разв. 1991. № 10. С. 3-22.
- 4. Сим Л.А. Влияние глобального тектогенеза на новейшее напряженное состояние платформ Европы // М.В. Гзовский и развитие тектонофизики. М.: Наука. 2000. С. 326- 350.
- 5. Сим Л.А., Брянцева Г.В., Чекмарев К.В. Новейшая тектоника и неотектонические напряжения севера Западно-Сибирской плиты и Полярного Урала // Бюлл. МОИП. 2007. № 6.
- 6. Строение и динамика литосферы Восточной Европы (результаты исследований по программе Europrobe). М.: ГЕОКАРТ, ГЕОС. 2006. Вып. 2. С. 559-658.

# Моделирование тектонических напряжений в структурах месторождения Гузаксай Чадакского рудного поля

## М.К. Турапов

Институт минеральных ресурсов Госкомгеологии Республики Узбекистан, г. Ташкент, Узбекистан, mineral@cu.uz

- 1. При прогнозировании эндогенного оруденения важно иметь представления о тектонических напряжениях в земной коре, предопределивших, в комплексе с другими физическими явлениями, формирование разрывных структур, которые при дальнейшем их развитии при процессах рудообразования могут приобрести статус рудоконтролирующих. Одним из решающих факторов в создании благоприятных структурно-тектонофизических условий рудообразования имеют особенности распределения величин напряжений в геологическом пространстве. Не менее важным является и реконструкция механизма формирования рудоконтролирующих структур и их взаимоотношение с тектонической напряженностью участка земной коры. Изучение этих факторов для целей поиска и прогноза золоторудных объектов в Чаткало-Кураминском регионе, характеризующиеся чрезвычайной сложностью геологического строения и многоэтапностью рудообразования, большую помощь может оказать экспериментальная тектоника по моделированию структур рудных полей и месторождений.
- 2. Одним из основных золоторудных объектов Чаткало-Кураминского региона является Чадакское рудное поле с двумя месторождениями (Пирмираб и Гузаксай) и многочисленными рудопроявлениями. В геологическом строении рудного поля участвуют вулканогенные и интрузивные образования верхнего палеозоя подразделяющиеся на три структурных яруса: нижний среднепалеозойские образования; средний мощные толщи вулканогенные и малые интрузивные образования; верхний осадочно-вулканогенные отложения трахилипаритовой формации. Тектоническое строение рудного поля определяется сочетанием многочисленных разрывных нарушений со складчатыми структурами. Одним из основных тектонических элементов является Гузаксайский грабен, протягивающийся с севера на юг в восточной части рудного поля охватывая площади участков Мазар, Боматсай и месторождения Гузаксай.
- 3. Реконструкция полей тектонических напряжений в структурах месторождения Гузаксай показывает, что площадь месторождения находится в тектонофизически ослабленном состоянии. Преобладают поля слабых величин напряжения с системой нейтральных зон, образованных вдоль зоны влияния разрывных нарушений. Это указывает на взаимосвязь распределения тектонических напряжений с тектоническими структурами изучаемой площади. Наблюдаемые в модели нейтральные зоны вдоль структур, в

особенности, имитирующих Гузаксайский разлом и его ответвления, соответствуют зонам разгрузки напряженности, сопровождаемые приоткрыванием полостей разрывных нарушений. Именно в таких полостях приоткрывания по Гузаксайскому разлому произошло размещение кварцево-рудных тел месторождения Гузаксай. Причины образования полостей приоткрывания кроются: в морфологии поверхности Гузаксайского разлома; в образовании локальных зон вертикально-горизонтальных сдвигов за счет горизонтальных усилий тектонического сжатия периода рудообразования.

4. Одним из ключевых вопросов при поиске и прогнозе является определение в геологическом пространстве зоны влияния рудоконтролирующих факторов на формирование месторождений и размещение в них эндогенного оруденения. Это особенно важно для горнорудных районов, где разломы играют первостепенное значение в формировании месторождений полезных ископаемых. Комплексное изучение этих структур как по латерали так и по вертикали дает возможность произвести оценку перспектив флангов и глубоких горизонтов известных рудных полей и месторождений. Изучение на глубину тектонофизических особенностей рудоконтролирующих структур месторождения Гузаксай проведено по профилям в масштабе 1:2000. Результаты моделирования напряжений в структурах по разрезам показывают, что в приповерхностных частях отмечается понижение напряженности с преобладанием слабых величин напряжений и нейтральными зонами. С глубиной напряженность повышается. Разлом в большинстве случаев тектонически активны, что способствует формированию полостей приоткрываний по контакту разнородных горных пород, межформационных срывов и т.д. Результаты экспериментов указывают на то, что в природе возможно образование полостей приоткрываний в пологих структурах сопрягающиеся с граничными разломами Гузаксайского грабена, и они могут быть структурными "ловушками" в процессе рудообразования. Этот факт был использован в качестве поисково-оценочных критериев при оценке перспектив глубоких горизонтов месторождения Гузаксай.

# Тектонофизический анализ энергонасыщенных участков геологической среды

#### Ю.В. Федотова, М.И. Потокин

Горный институт КНЦ РАН, г. Апатиты, julia@goi.kolasc.net.ru

Характерной особенностью отработки месторождений открыто-подземным способом является необходимость учета совместного геомеханического влияния открытого и подземного выработанного пространства. При комбинированном способе разработки резко возрастает число параметров геосистемы «карьер-рудник». Это приводит к значительному усложнению контроля состояния массива. Такая ситуация наблюдается при совместных работах Расвумчоррского рудника и карьера Центрального рудника ОАО «Апатит». Связано это со сложной геометрией опасного участка, относительно большими размерами геомеханического пространства (диаметр зоны геомеханического пространства – несколько километров), невозможностью охватить сейсмопавильонами всю зону контроля (наличие зоны обрушения), наличием нескольких активных разломов, определяющих геодинамику района.

В зоне стыковки вследствие техногенной активизации происходят подвижки по разломам, проявляются деформации уступов и бортов карьера, происходят крупные сейсмические события с выделением значительной энергией. Активизация этих явлений может повлечь за собой такие последствия как обрушение борта карьера, разрушение рудоспусков, транспортных и других подземных выработок, неконтролируемые обрушения и потерю рудных запасов, разрушение дорог, коммуникаций и различных инженерных объектов на поверхности.

Таким образом, для геомеханического обеспечения прогноза состояния и характера реакции массива при комбинированной разработке необходимо проведение исследований по выявлению основных горно-геологических факторов, определяющих поведение массива. При этом нужно иметь в виду, что отработка новых участков месторождения осуществляется, как правило, в условиях неполноты информации о горно-геологических условиях. Следовательно, необходима также оценка достоверности прогноза горно-геологических условий на основе статистической оценки информации.

Ниже приводятся результаты анализа зоны стыковки подземного Расвумчоррского рудника и карьера Центрального рудника ОАО «Апатит».

С точки зрения геологии Расвумчоррский рудник в разрезе представляет типичное для рудников ОАО «Апатит» строение. Геология осложняется наложенной на нее тектоникой. Разрывные, сдвиговые и деформированные структуры, представленны дайками, жилами, зеркалами скольжения, пусто-

тами выщелачивания, трещинной зоной выветривания и зонами шпреуштейнизации.

По материалам геологического бурения и геологического описания пройденных горных выработок на стыке рудников Центральный и Расвумчорр прослежены две мощные зоны трещиноватых и измененных пород. Одна зона юго-западного – северо-восточного простирания, крутопадающая (азимут падения юго-восток). Другая – пологая, более сложная, простирается с северо-запада на юго-восток (имеет азимут падения на северо-восток). Обе зоны проходят в верхней части по рудному телу и вмещающим уртитам. При прослеживании на глубину они выходят из рудного тела, оставаясь в нижележащих уртитах. Мощность их варьируется от 1 м до 10 м. Изучение этих зон в горных выработках затруднено вследствие закрепления их бетонной и анкерной крепью с металлической сеткой, из-за сильной ослабленности пород слагающих, как саму зону, так и примыкающих к ней вмещающих пород. Вмещающие породы повсеместно выделяют соду, что явно не улучшает их крепость в и так уже ослабленной зоне.

Зоны шпреуштейнизации исследуемого участка можно разделить на три типа: К первому типу относятся породы не трещиноватые, имеющие красный оттенок, вызванный развивающимся по нефелину шпреуштейном. Ко второму типу относятся породы слаботрещиноватые (носят следы развития более поздних прожилков с цеолитовой и карбонатной минерализацией) кровавокрасного цвета. К третьему типу относятся сильнодезинтегрированные породы с сильной трещиноватостью и слабой крепостью (ломается от прикосновения руками).

Большинство изученных кернов скважин и стенок горных выработок указывает на 2-ю и 3-ю степень шпреуштейниризации, осложнённой, в ряде случаев, открытыми трещинами, средне и сильно обводненными.

На исследуемом участке было проведено детальное структурное картирование окисленных тектонических зон, где были выявлены кинематические индикаторы (структуры, наблюдаемые при геологическом описании с одной стороны и указывающие направление тектонических перемещений с другой) шести типов: 1. Деформации тектонитов, образующие текстуру пород. 2. Смещение по нарушению. 3. Штрихи скольжения на плоскостях подвижек. 4. Участки приоткрывания при искривлении зоны. 5. Разрывные нарушения с дайками. Все эти индикаторы (кроме 1) указывают на локальные трещинные структуры, связанные с пострудными тектоническими нарушениями. Проведённые исследования позволили сделать следующие выводы:

- 1. Выявленные деформации связаны с течением остывающей интрузии. Они хорошо видны в разнообразии рудных текстур и трахитоидности ийолит-уртитов. По мере остывания интрузии отмечается переход от течения к трещинообразованию.
- 2. Смещение по нарушению (в большинстве случаев разрывное, сдвиговое) определяется по смещению полосчатости на стенке выработок.

- 3. Штрихи скольжения наблюдаются по поверхностям сдвиговых нарушений и представлены от борозд до зеркал.
- 4. Участки приоткрывания и оперяющиеся открытые трещины образуются также при сдвиговых смещениях в условиях, как сжатия, так и растяжения. Часто они имеют «залеченный» вид, и заполнены минералами цеолитовой группы.
- 5. Наблюдаемые в зоне стыковки рудников дайки маломощные (до 0.5 м), представлены в основном мончекитом, но иногда встречаются и тингуа-итовые прожилки. Все они имеют несогласное, секущее контакты пород расположение. Тела их вертикальные или крутопадающие.

Обобщая структурное картирование и наблюдая последовательность процессов преобразования пород в зоне тектонических нарушений на участке стыковки рудников можно сделать выводы, что после тектонических нарушений, связанных с изменением текстурно-структурных характеристик происходит гидротермальная проработка раскрывшихся трещин, которая приводит к изменению минерального и, как правило, химического состава пород. Поздняя минерализация может цементировать и упрочнять породу, но чаще общий результат вторичных процессов заключается в снижении прочностных характеристик пород.

В подземных горных выработках Расвумчоррского рудника на горизонте +600 м в зоне влияния карьера наблюдаются вывалы, которые представляют собой каменные блоки изометрической формы, а не плиточные отдельности и линзы шелушения, характерные для проявлений горного давления. Это связано как с влиянием ведущихся работ в карьере, так и со схемой отработки подземного рудника. Обе зоны при пересечении образуют ослабленный узел северо-восточного падения, который проходит в зоне стыковки Расвумчоррского и Центрального рудников, который влияет на проведение проходческих и горнодобывающих работ.

В настоящее время проводится детальное сравнение параметров сейсмичности данного участка массива с трещиноватостью (выявленной по геологическим наблюдениям), а также с зафиксированными изменениями конфигурации выработок и уступов карьера.

# Физические условия в источниках кимберлитовых магм: Модель происхождения кимберлитов

#### Я.М. Хазан

Институт геофизики НАН Укр., г. Киев, Украина, ykhazan@gmail.com

Кимберлитовые магмы являются уникальными, поскольку они поступают с больших глубин, чем магмы любого другого типа, и являются главным источником глубинных мантийных ксенолитов, содержащих непосредственную информацию о составе литосферной части верхней мантии и термодинамических условиях в ней. Эти факторы, а также алмазоносность некоторых из кимберлитов мотивируют интерес к ним и их интенсивное геологическое, петрологическое и геохимическое изучение. Исторически сложилось так, что проблема происхождения кимберлитов - ультраосновных, высокомагнезиальных, щелочных магм, содержащих значительное количество летучих и чрезвычайно обогащенных некогерентными элементами, рассматривается как проблема происхождения их необычного химического и микроэлементного состава, т. е. как проблема существенно геохимическая. В то же время, происхождение кимберлитов ставит целый ряд очень интересных геодинамических и тектонофизических задач. Прежде всего, обращает на себя внимание тесная ассоциированность кимберлитового магматизма с архейкратонами, верхняя кора которых испытала тектонотермальное воздействие не ранее 2.5 млрд. лет назад, и протерозойскими циркумкратонными поясами, подвергшимися переработке от 1 до 2.5 млрд. лет назад. При этом кимберлиты не наблюдаются в регионах с корой моложе 1 млрд. лет. Причину этой связи, несомненно, следует искать в особенностях возникновения и развития тепловой неустойчивости в мантии в условиях существования холодной и мощной кратонной литосферы. Кроме того, кимберлитовые магмы доставляются на поверхность с глубины, превышающей 200 км, за время от часов до дней, что возможно только при их распространении в транслитосферных дайках. Вопрос о зарождении таких даек, достижении ими порога устойчивости, распространении и механизме захвата ксенолитов, содержание которых в кимберлитах достигает десятков процентов по массе, представляет собой вполне интересную тектонофизическую задачу. Первым указанием на глубинность источников кимберлитов, во всяком случае, алмазоносных, было обнаружение в них алмазов, которые устойчивы в мантии глубже перехода графит-алмаз — около 4.5 ГПа при температуре 1000° С. Кроме того, каждый из кимберлитов содержит ксенолиты, захваченные на разных глубинных уровнях. Максимальные глубины ксенолитов, превышающие 220 км, дают оценку минимальной глубины, на которой располагается кровля области источников. Независимую, но близкую к результатам термобарометрии оценку положения кровли области

источников можно получить, сопоставляя данные о содержании примесей, в частности, редкоземельных элементов (РЗЭ) в кимберлитах и минералах мантийных ксенолитов. Кимберлиты, как известно, чрезвычайно обогащены легкими РЗЭ (до 10<sup>3</sup> в хондритовой нормировке), что, в частности, означает, что они являются продуктом плавления низкой степени (~1%). В то же время минеральные содержания ЛРЗЭ в литосфере кратонов быстро уменьшаются с глубиной и на глубине 6 ГПа примерно на порядок ниже, чем это необходимо для насыщения выплавок до содержаний, характерных для кимберлитов. Иначе говоря, кимберлитовые магмы должны были выплавляться в более фертильной, сублитосферной области мантии. Интересно, что такая химическая граница действительно наблюдается на периферии Карельского кратона на глубине около 180 км и под архейскими кратонами североамериканской плиты на глубине около 200 км. При этом мощность деплетированной части мантии примерно совпадает с мощностью литосферы по lfyysv томографии на поверхностных волнах и региональным данным (например, 200-220 км под большей частью Сибирской платформы и 180-200 км под кратоном Ка-Физической причиной формирования такой стратификации может быть то, что плотность коматиитов, выплавление которых и привело к деплетированию литосферы, на глубине, превышающей примерно 250 км (8 ГПа), становится выше плотности твердого остатка плавления, что препятствует их сегрегации. Важным источником информации о физических условиях в источниках кимберлитов являются лабораторные эксперименты по плавлению кимберлитов, а также плавлению перидотитов в «сухих» условиях и в присутствии CO2. Как свидетельствуют эти эксперикимберлиты, вероятно, являются продуктом карбонатизированного гранатового лерцолита, причем их высокая магнезиальность (≥25% MgO по массе) указывает на плавление в высокобарических условиях (5-10 ГПа). При этом температура в источнике должна превышать ликвидус кимберлитов или солидус карбонатизированного перидотита (>1550-1600° С при давлении 7-8 ГПа). Поскольку полученные экспериментально оценки температур в источниках превышают значения, характерные для «холодных» кратонных геотерм, генерация кимберлитов должна была быть связана с влиянием некоторого теплового импульса. В качестве такого импульса предполагается влияние горячих точек на литосферные корни. В пользу этого говорит монотонное уменьшение возрастов кимберлитов вдоль континентальных продолжений некоторых горячих точек (например, Great Meteor в Северной Америке) и размещение кимберлитовых полей вдоль многосоткилометровых линейных зон, как, например, в Якутской провинции. Если это предположение верно, то с геодинамической точки зрения влияние горячих точек сводится к инициированию тепловой неустойчивости вблизи литосферно-астеносферной границы. В этой связи обращает на себя внимание тот факт, что кимберлитовые проявления располагаются, как правило, на малоамплитудных куполах диаметром 20-60 км. Поскольку эти размеры велики по сравнению с размерами вулканических построек, то происхождение куполов не имеет отношения к кимберлитовому вулканизму, как таковому, а отражает глубинный процесс, одним из следствий которого было формиродиапиров (термиков), всплытие другим кимберлитовых магм. При этом наблюдаемые размеры куполов позволяют оценить характерную длину волны тепловой неустойчивости. Существенно, что малость амплитуды куполов (десятки метров) и отсутствие синхронного с кимберлитами основного магматизма свидетельствует о том, что мантийный диапир, ответственный за наблюдаемое поднятие, потерял запас плавучести и остановился, не достигнув низов коры. В противном случае он испытал бы значительное (десятки процентов) декомпрессионное плавление и вместо незначительного по объему кимберлитового наблюдался бы массивный основный магматизм. Очень интересно, что такие, «застрявшие» термики, повидимому, могут наблюдаться. Во всяком случае, в западнонорвежской гнейссовой провинции обнаружены ксенолиты, тепловая история которых свидетельствует о том, что они вначале испытали декомпрессионное плавление, а затем остановились и достигли теплового равновесия с окружающей средой на глубине 100-120 км. Наконец, если сравнить время остывания поднимающегося диапира и время его всплытия на подкоровую глубину, то оказывается, что в условиях холодной и высоковязкой кратонной литосферы все термики диаметром  $D \le D_{\text{max}} = 80 \text{ км}$  остановятся внутри литосферы в полном согласии с размерами наблюдаемых куполов. В более активизированных регионах температура литосферы выше, а вязкость и дистанция, которую должен пройти термик, меньше, что снижает  $D_{\max}$ , так что остановки термика не произойдет, и вместо кимберлитового будет наблюдаться магматизм базальтового состава. Таким образом, этот механизм может быть объяснением приуроченности кимберлитов к регионам с древней корой. Модель является также перспективной с точки зрения объяснения зарождения и начального роста транслитосферных даек. Трудность здесь заключается в том, что транспортировке на поверхность должна предшествовать фильтрационная сегрегация расплава. На глубинах ~8 ГПа просачивание в вертикальном направлении, видимо, не эффективно из-за близости плотностей расплава и твердой фазы (если только насыщение летучими не приводит к заметному разуплотнению). Движущей силой фильтрации может быть горизонтальный градиент давления под всплывающим термиком, одновременно объясняет наблюдаемую корреляцию кимберлитовых проявлений с куполами.

## Численные модели глубинных и крупных разломов в земной коре нефтегазоносных регионов Узбекистана

#### А.И. Ходжиметов

ОАО «ИГиРНиГМ», г. Ташкент, Узбекистан, hodjimetov@rambler.ru

Численные модели, построенные для исследования условий образования надвигово-подвиговых зон Сурхандарьинской мегасинклинали показали, что вблизи глубинных и крупных разломов наблюдаются максимальные деформации осадочного чехла и палеозойского комплекса, соответствующие приразломным складкам в пределах висячих и лежачих крыльев блоков. Сопоставление их амплитуд указывает на большую дислоцированность осадочного чехла в виде моноклинального залегания с наклоном в сторону погружения блоков, на их убывание по мере удаления от места приложения сжимающих сил, а также на их зависимость от наличия солевых отложений [Абидов и др., 2001].

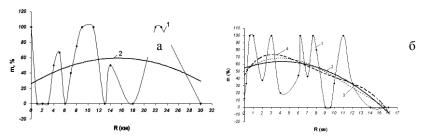
В пределах Ферганской впадины и ее горного обрамления развиты многочисленные разломы, обзор которых в наиболее полной форме приведен в работах М.С. Айдалиевой (1969), Б.Б. Итдикова (1977) и др., в которых в зависимости от геометрических характеристик (протяженности и глубины проникновения) разломы делятся на две группы: региональные и локальные. В пределах Ферганского региона расположены три взаимосвязанные системы глубинных разломов, которые отражают тектоническую позицию одноименной межгорной впадины в составе Тянь-шаньской орогенной области.

Используя схему расположения региональных разломов и антиклинальных складок, а также обзорную карту месторождений и фонда перспективных структур в Ферганском регионе [Каломазов, Кислицина, 2007] проанализированы зависимости количества продуктивных структур к их общему количеству (m) от расстояния до Южно-Ферганской и Северо-Ферганской флексурно-разрывных зон (R), для чего построены графики указанных выше зависимостей (рис. 1, а, б, кривые 1). Как видно из рисунков в зависимостях m ~ R из-за дисперсного характера данных не видно какой-либо закономерности, что обусловлено главным образом тем, что при определении m и R могут быть допущены определенные погрешности.

В связи с этим возникает задача: найти функцию m = f(R), по возможности не содержащую упомянутые выше погрешности и отражающую в основном характер зависимости  $m\sim R$ . Эта задача называется сглаживанием результатов экспериментальных исследований методом наименьших квадратов (МНК), при применении которого решаются две задачи: 1) определение вида сглаживающей функции; 2) определение значений параметров, входящих в сглаживающую функцию.

На рис. 1, а приведены кривые, когда аппроксимирующая функция принималась полиномом второго (кривая 2), третьего (кривая 3) и четвертого (кривая 4) порядка. Эти зависимости показывают, что на расстоянии от двух до пяти километров до Южно-Ферганской флексурно-разрывной зоны происходит увеличение отношение количества продуктивных структур к их общему количеству, в максимуме достигая 75 %.

Для Северо-Ферганской флексурно-разрывной зоны получено, что наилучщая аппроксимация получается полиномом второго порядка и выявлено, что на расстоянии 12-18 км от  $\Phi P3$  продуктивность структур превышает 60 % и уменьшается, по мере удаления от  $\Phi P3$  (рис. 1, 6).



**Рис. 1.** Графики зависимости отношения количества продуктивных структур к их общему количеству от расстояния до: а) Южно-Ферганской; б) Северо-Ферганской флексурно-разрывных зон

#### Выводы:

- 1. Возникновение и последующее развитие разломов в земной коре зависит от множества геологических и физических факторов: гранулометрического состава, плотности, влагосодержание, значения которых изменяются в очень широких пределах; от характера и интенсивности напряженного состояния (растяжение, сжатие, изгиб, сдвиг). Это обстоятельство следует иметь в виде при решении задач, связанных с изучением механизма образования глубинных и крупных разломов.
- 2. Вблизи глубинных и крупных разломов наблюдаются максимальные вертикальные и горизонтальные деформации осадочного чехла и палеозойского комплекса, соответствующие приразломным складкам в пределах висячих и лежачих крыльев блоков.
- 3. На некотором расстоянии от глубинных разломов и флексурноразрывных зон отношение количества продуктивных структур к их общему количеству (m) достигает максимального значения, например, для Южно-Ферганской флекурно-разрывной зоны это расстояние получилась равной 2–5 км, а для Северо-Ферганской флексурно-разрывной зоны 12–18 км. Таким образом, возникает новая задача, определения оптимального расстояния в зависимости от геологических условий и геометрических характеристик глубинного разлома.

- 1. Абидов А.А., Атабеков И.У., Долгополов Ф.Г., Ходжиметов А.И., Камалходжаев У.А. Система надвигово-поддвиговых зон в земной коре Сурхандарьинского нефтегазоносного региона // Узбекский журнал нефти и газа. 2001. № 2. С. 12-15.
- 2. Багринцева К.И. Трещиноватость осадочных пород. М.: Недра. 1982. 256 с.
- 3. Гаврилов В.П. Влияние разломов на формирование зон нефтегазонакопления. М.: Недра. 1975. 272 с.
- 4. Долгополов Ф.Г., Ходжиметов А.И. Исследование напряженно-деформированного состояния земной коры Сурхандарьинской мегасинклинали // Республ. научн.-техн. конф. «Современные проблемы механики» (Ташкент-Самарканд, 29-31 октября 2001 г.)]. Ташкент: 2001. С. 221-225.
- 5. Крапивенцева В.В., Краснов Е.В. О сопряженности биогенных, флюидодинамических и эндогенных факторов в нефтегазообразовании // Флюидодинамический фактор в тектонике и нефтегазоносности осадочных бассейнов. М.: Наука. 1971. С. 238-253.
- 6. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика разломов и эколого-промышленная безопасность объектов нефтегазового комплекса // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2007. № 1. С. 33-40.
- 7. Лобацкая Р.М. Структурная зональность разломов. М.: Недра: 1987. 129 с.
- 8. Павлова Н.Н. Деформационные и коллекторские свойства горных пород. М.: Недра. 1975. 240 с.
- 9. Рац М.В., Чернышев С.Н. Трещиноватость и свойства трещиноватости горных пород. М.: Недра. 1970. 160 с.
- 10.Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.Е. Кинетическая природа прочности твердых тел // УФН. 1972. Т. 106, вып. 2. С. 57-63.
- 11. Сайдалиева М.С. Тектоника и закономерности формирования и размещения залежей нефти и газа Ферганской впадины. Автореф. Дисс. на соиск. учен. степени докт. наук. 1969.
- 12. Сайдалиева М.С., Огай В.Ф. Попов А.Я. Разрывные нарушения и размещения залежей нефти и газа. Ташкент: Фан. 1974. С. 50-94.
- 13. Ситдиков Б.Б. Динамическая связь тектонических структур Ферганской впадины с Таласо-Ферганским сдвигом. Ташкент: Фан. 1977. 56 с.
- 14. Физико-механические свойства горных пород и минералов при высоких давлениях и температурах / Воларович М.П. и др. М.: Наука. 1974. 224 с.
- 15. Финкель В.М. Физика разрущения (рост трещин в твердых телах). М.: Металлургия. 1970. 215 с.
- 16. Шейдеггер О. Основы геодинамики. М.: Недра. 1987. 384 с.

# Математическая модель запредельного деформирования горных пород и её применение в расчетах зональной дезинтеграции массива пород вокруг выработок

### А.И. Чанышев, О.Е. Белоусова

Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск, belousova\_o@ngs.ru

Явление зональной дезинтеграции массива горных пород вокруг выработок обнаружено сравнительно недавно [1-3]. Его суть - это то, что на больших глубинах вокруг выработок образуются трещины, повторяющие контур савыработки. причем сами трещины в плане располагаются в геометрической последовательности со знаменателем, равны  $\sqrt{2}$ , если за первый член последовательности взять радиус самой выработки. Данное явление составляет предмет открытия № 400, зарегистрированного в 1992 году [4]. Описанию явления посвящены многие работы. Одни из них связывают образование зональной дезинтеграции с распространением трещин в направлении максимального сжатия, которое совпадает с направлением касательной к контуру выработки [5, 6], другие уже «сдезинтегрированный» массив пород с образовавшейся системой трещин пытаются описать с помощью неевклидовой геометрии [7-8] с отказом от применения условия совместности деформаций Сен-Венана. В предлагаемой работе для описания явления зональной дезинтеграции массива пород вокруг выработок привлекается кривая запредельного деформирования горных пород. Рассматривая всю диаграмму изменения касательного напряжения т с ростом сдвига у как диаграмму изменения предельной силы трения с ростом у, замечаем, что при падении этого напряжения (запредельное деформирование) и увеличении нагрузки, прикладываемой к массиву пород с выработкой, происходит нарастание скорости частиц в области запредельного деформирования, причем даже в случае слабого роста прикладываемой нагрузки. Рост скорости порождает рост кинетической энергии в области разрушения. Кинетическая энергия растет также и в примыкаемых областях (в области упругости). Остановить её рост возможно одним способом: допустить, что при достижении плотностью кинетической энергии в области запредельного деформирования некоторого критического значения произойдет отрыв этой зоны от основного массива пород. Отрыв сопровождается снятием напряжений на контуре будущей трещины. Снятие напряжений порождает нагрузку неразрушенного массива пород, процесс образования зон дезинтеграции продолжается. Единственное, что надо определить, это - плотность кинетической энергии, при которой образующиеся трещины составляют геометрическую прогрессию со знаменателем  $\sqrt{2}$  . Данный критерий может зависеть также и от скорости

нагружения массива пород, от скорости снятия напряжения на контуре будущей трещины, от свойств самой среды, в том числе и от модуля спада. На примере нагружения массива пород с цилиндрической выработкой дан анализ этого явления. Построена математическая модель процесса образования зон дезинтеграции массива пород вокруг цилиндрической выработки в случае несжимаемой (v = 0.5) среды и в случае сжимаемого материала. Определены границы дезинтеграции массива пород. Отмеченные границы практически не зависят от скорости разгрузки зон разрушения и от отношения модуля упругости к модулю спада, но зависят от скорости нагружения.

Для несжимаемого материала зависимость  $\sqrt{2} \cdot a$ , где a – радиус выработки, наблюдается при высокоскоростном нагружении массива пород. Разработана математическая модель процесса образования зон дезинтеграции массива пород вокруг цилиндрической выработки с учетом угла внутреннего трения и дилатансии материала. Так же определены границы дезинтеграции массива пород. Для мрамора наблюдается максимум плотности энергии, необходимой для откола при угле внутреннего трения 20-30° градусов, при этом имеет место уплотнение материала при сдвигах. При углах внутреннего трения больше 15° градусов имеет место разрыхление материала и непрерывное дробление контура выработки. Для песчаника и диабаза с увеличением угла внутреннего трения наблюдается рост плотности энергии, необходимой для откола. В случае сжимаемой среды плотность энергии, необходимая для откола, увеличивается с увеличением коэффициента Пуассона и с ростом скорости нагружения. В заключение необходимо заметить, что изложенный здесь подход, вообще говоря, сочетается с [5, 6] потому, что трещина отрыва образуется там, где тангенциальное напряжение максимально - на границе раздела упругой и неупругой области областей деформирования (зона опорного давления). Некоторые моменты предлагаемого подхода изложены в работах [9, 10].

Работа выполнена при финансовой поддержке интеграционного проекта СО РАН № 93, а также гранта РФФИ № 06-05-64596.

- 1. Козел А.М., Борисовец В.А., Репко А.А. Горное давление и способы поддержания стволов. М.: Недра. 1976. 293 с.
- 2. Adams G.R., Jager A.J. Petroscopic observations of rock fracturing ahead of stope faces in deep-level gold mines. «SAIMM» // Journal of the South African Institute of Mining and Metallurg. 1980. V. 80, № 6.
- 3. Шемякин Е.И., Фисенко Г.Л., Курленя М.В., Опарин В.Н. Эффект зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок // ДАН СССР. 1986. Т. 289, № 5.
- 4. Открытие № 400 СССР. Явление зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок / Авт.: Шемякин Е.И., Курленя М.В., Опарин В.Н., Рева В.Н., Розенбаум М.А. // Опубл. БИ. 1992. № 1.

- 5. Тропп Э.А., Розенбаум М.А., Рева В.Н., Глушихин Ф.П. Зональная дезинтеграция породы вокруг горных выработок на больших глубинах (Препринт ФТИ им. А.Ф. Иоффе АН СССР № 976). Л.: 1985.
- 6. Одинцев В.Н. Отрывные разрушения массива скальных горных пород. М.: ИПКОН РАН. 1996.
- 7. Гузев М.А., Парошин А.А. Неевклидова модель зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземной выработки // ПМТФ. 2000. № 6.
- 8. Макаров В.В. О зональном деформировании массива горных пород вокруг горных выработок / В.В. Макаров, Н.А. Горданова, М.И. Звонарев // В сб.: Механика подземных сооружений. Тула: 1989. С. 116-125.
- 9. Чанышев А.И., Белоусова О.Е. Численно аналитическое исследование влияния режимов нагружения в задаче о разрушении массива горных пород вокруг цилиндрической выработки // Тезисы докладов всероссийской конференции. «Деформирование и разрушение структурно неоднородных конструкций». Новосибирск: Изд. ИГД СО РАН. 2006.
- 10. Чанышев А.И., Белоусова О.Е. Зональная дезинтеграция и её зависимость от параметров нагружения и структурных характеристик пород // Тезисы докладов всероссийской коннференции «Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды Т. 1. Геотехнологии». Новосибирск: Изд. ИГД СО РАН. 2007.

# Устойчивость массива горных пород вокруг цилиндрической выработки в до и запредельной стадиях деформирования.

#### А.И. Чанышев, Е.А. Игонина

Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск, igonina@gorodok.net

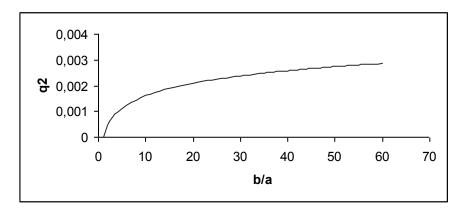
Рассматривается задача о потере устойчивости массива горных пород вокруг цилиндрической выработки. Постановка соответствует постановке задачи устойчивости, определенной Л.С. Лейбензоном, А.Ю. Ишлинским [1, 2]. То есть анализируются исходное напряженно-деформированное состояние (основное), дополнительное, связанное с переходом массива пород из основного в смежное равновесное состояние. Пренебрегается произведениями и квадратами малых величин. Критическая нагрузка – та нагрузка, при которой происходит переход из основного состояния массива пород в другое, смежное состояние. Она определяется из решения соответствующей однородной алгебраических уравнений путем приравнивания определителя системы к нулю. Для решения необходимо сформулировать краевые условия задачи в момент потери устойчивости массива пород, составляющие основу системы алгебраических уравнений. Однако в предыдущих исследованиях других авторов [3, 4] здесь имеются некоторые неточности, выражающиеся в потере одного существенного с точки зрения окончательного результата слагаемого. В данной работе неточности устраняются. С учетом исправленных краевых условий задача решается для упругого массива пород, для упругопластического, для случая, когда в области пластичности справедливы уравнения Прандтля – Рейсса при идеальной пластичности с условием пластичности Треска, а также для такого массива пород, когда вокруг выработки образуется область запредельного деформирования. В каждом случае строится основное напряженно-деформированное состояние с определением границ, разделяющих области упругости, пластичности, разрушения. Строится в виде бесконечных рядов с разложениями по полярному углу и полярному радиусу дополнительное напряженнодеформированное состояние. Показано, что в случае рассмотрения чисто упругой задачи предельная нагрузка по величине становится соизмеримой с модулем сдвига среды 2 д. В случае упругопластического массива пород решение выписывается в явном виде. Приведем некоторые результаты работы. Исправленный вариант краевых условий задачи, используемых при анализе устойчивости массива пород с выработкой, имеет вид:

$$\begin{cases} \Delta \sigma_r = 0 \\ \Delta \tau_r = (p + \sigma^0 \big|_{r=a}) \alpha \end{cases} \text{, где } \alpha = \frac{1}{r} \Big( \begin{array}{c} \frac{\partial u_r}{\partial} - u \end{array} \Big) \Big|_{r=a}.$$

Отличие от [3, 4] заключается в наличии слагаемого  $\frac{u}{r}$ , которое также присутствует в определении, например, деформации  $\Delta \varepsilon_r$  ( $\Delta \varepsilon_r = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{\partial u}{\partial r} - \frac{u}{r} \right)$ ). Дополнительные перемещения ищутся в виде:  $\frac{\Delta u_r}{\Delta u} = f(r) \sin(\lambda)$  , где  $\lambda$  - число волн искривленной поверхности, помещающихся в длину контура выработки. Функции t и t в случае, например, идеальной пластичности определяются выражениями:

$$\begin{split} f &= \cos \left( \sqrt{\lambda^2 - 1} \ln r \right) \! A_1 + \sin \! \left( \sqrt{\lambda^2 - 1} \ln r \right) \! A_2 + \ln \! \left( r \right) \! \cos \! \left( \sqrt{\lambda^2 - 1} \ln r \right) \! A_3 + \ln \! \left( r \right) \! \sin \! \left( \sqrt{\lambda^2 - 1} \ln r \right) \! A_4 \,, \\ g &= \! \left( \cos \! \left( \sqrt{\lambda^2 - 1} \ln r \right) \! - \! \sqrt{\lambda^2 - 1} \sin \! \left( \sqrt{\lambda^2 - 1} \ln r \right) \! \right) \! A_1 + \! \left( \sin \! \left( \sqrt{\lambda^2 - 1} \ln r \right) \! + \! \sqrt{\lambda^2 - 1} \cos \! \left( \sqrt{\lambda^2 - 1} \ln r \right) \! \right) \! A_2 + \\ &+ \! \left( \! \left( 1 \! - \! \left( \lambda^2 - 1 \right) \! \frac{2\mu}{\lambda^2 \left( k + \mu \right)} \! + \ln \! \left( r \right) \! \right) \! \cos \! \left( \sqrt{\lambda^2 - 1} \ln r \right) \! - \! \sqrt{\lambda^2 - 1} \left( \frac{2\mu}{\lambda^2 \left( k + \mu \right)} \! + \ln \! \left( r \right) \! \right) \! \sin \! \left( \sqrt{\lambda^2 - 1} \ln r \right) \! \right) \! A_3 + \\ &+ \! \left( \! \left( 1 \! - \! \left( \lambda^2 - 1 \right) \! \frac{2\mu}{\lambda^2 \left( k + \mu \right)} \! + \ln \! \left( r \right) \! \right) \! \sin \! \left( \sqrt{\lambda^2 - 1} \ln r \right) \! + \! \sqrt{\lambda^2 - 1} \left( \frac{2\mu}{\lambda^2 \left( k + \mu \right)} \! + \ln \! \left( r \right) \! \right) \! \right) \! A_4 \,. \end{split}$$

Зависимость предельной нагрузки от отношения размеров массива пород и выработки представлена на следующем графике:



Здесь  $q2 = \frac{p-q}{\mu}$ ,  $\frac{b}{a}$  - отношение внешнего размера массива пород к диаметру выработки.

Параметры среды при этом следующие:  $\gamma = 0.4$  – коэффициент Пуассона,  $E = 0.4 \cdot 10^5$  МПа – модуль Юнга,  $\tau_* = 5$  МПа.

Основные моменты работы, касающиеся определения краевых условий изложены также в [5].

Работа выполнена при финансовой поддержке интеграционного проекта СО РАН № 93, а также гранта РФФИ № 06-05-64596.

- 1. Ишлинский А.Ю. Рассмотрение вопросов об устойчивости равновесия упругих тел с точки зрения математической теории упругости // Укр. мат. Журнал. 1954.Т. 6, № 2.
- 2. Лейбензон Л.С. О применении гармонических функций к вопросу об устойчивости сферической и цилиндрической оболочек. Собр.тр. 1951. № 1.
- 3. Ершов Л.В., Максимов В.А. Математические основы физики горных пород. М.: 1968.
- 4. Алимжанов М.Т. Устойчивость равновесия тел и задачи механики горных пород. Алма-Ата: Наука. 1982.
- 5. Игонина Е.А. Чанышев А.И. О потере устойчивости массива горных пород вокруг цилиндрической выработки // Новосибирск: Изд. ИГД СО РАН. 2006.

# Сдвиговая тектоника Максимкинской и Аригольской площадей Александровского свода (Западная Сибирь)

# О.С. Юрченко<sup>1</sup>, Л.А Сим<sup>2</sup>

1 – ООО «Славнефть-НПЦ, г. Тверь, sparrow@yandex.ru

В пределах северной части Александровского свода Обь-Васюганской гряды на Максимкинской и Аригольской площадях с целью изучения разломной тектоники применен комплекс геолого-тектонофизических исследований. Наиболее крупной структурой Александровского свода является Трайгородский мезовал, имеющий линейную форму и вытянутый в северном направлении. Мезовал осложнен структурами ІІІ порядка, поднятиями и Охтеурским, Аригольским и Вахским куполовидными Криволуцким валом. Крупной отрицательной структурой, ограничивающей с запада Обь-Васюганскую гряду является Колтогорско-Нюрольский желоб, который на всем своем протяжении осложнен более мелкими впадинами. Сопряженным с Трайгородским мезовалом является Колтогорский мезопрогиб с осложняющей его Северо-Колтогорской впадиной. В пределах указанных структур отложения осадочного мегакомплекса представлены аален-волжской и меловой толщами пород [Конторович, 2002].

В интервале развития отложений осадочного чехла в пределах площади исследований было прокоррелировано несколько основных отражающих горизонтов, которые являются устойчивыми маркерами и хорошо выделяются в сейсмическом волновом поле. В основном они приурочены к реперным глинистым пачкам, которые либо залегают на эрозионных поверхностях размыва нижележащих отложений, либо завершаю разрезы крупных циклов осадконакопления. На основе анализа распределения и стратиграфической приуроченности глинистых пачек (и соответствующих им отражающих горизонтов) по разрезу было выделено 2 основных и 5 вспомогательных целевых интервалов, совпадающих с сейсмофациальными мегакомплексами и входящими в их состав сейсмофациальными комплексами (СФК).

Последовательное изучение сейсмических аномалий, отождествленных с разрывными нарушениями разного ранга и разной степени выраженности. в пределах выделенных СФК, позволило проанализировать степень нарушенности осадочного разреза. В качестве вспомогательного материала были использованы срезы куба антикогерентности (условной «трещиноватости»). Полученные результаты интерактивно сравнивались с данными анализа куба антикогерентности Variance. Последний хорошо реагирует только на крупные протяженные разрывы (глубина проникновения по разрезу более 200 мс) и на крутые перегибы структур. Целью исследований являлось выделение и анализ взаимоотношений между выделенными линеаментами и разрывными

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> – Институт физики Земли РАН, г. Москва, sim@ifz.ru

нарушениями, поэтому для работы была выбрана более «тонкочувствительная» версия куба антикогерентности.

Поскольку в пределах площади исследований были выделены сейсмические аномалии, напоминающие своими очертаниями зоны сдвига, были использованы данные физического моделирования сдвигов [Гзовский, 1975; Шерман, и др., 1991; Сим и др., 2007]. Все многообразие выделенных по сейсмическим материалам линеаментов сопоставлялось с парагенезами оперяющих трещин, а основные закономерности их ориентации в зонах сдвигов использовались для реконструкции тектонических напряжений, вызывающих формирование сдвигов. В результате проведенных исследований сделаны следующие выволы:

- 1. Основная нефтеносность на выбранных площадях приурочена, повидимому, к зонам максимальной термальной проработки в пределах Центрально-Аригольской сдвиговой зоны и Охтеурского сдвига.
- 2. В диапазоне анализируемых юрского и мелового интервалов разреза выделены условные уровни, несущие в себе черты разной степени деструкции: а) уровень преимущественно вязко-пластичных деформаций (зоны развития систем кулис) с малочисленными элементами хрупких деформаций (зоны поперечных разломов); б) уровень преимущественно хрупких деформаций с ярко выраженными прямолинейными разломами и с затухающими и отживающими свое элементами кулисообразных зон.
- 3. По данным структурно-тектонофизических реконструкций были выделепарагенезы оперяющих трещин, на основе анализа пространственного расположения относительно крупнейших сдвиговых зон и структурных планов по основным отражающим горизонтам определены 4 этапа тектонической развития рассматриваемой части Западной Сибири: I этап – герцинский (заложение основных структурных элементов в пределах Александровского свода), ІІ этап – постбаженовский (формирование кулисообразных разрывов в зоне действия крупных сдвигов с левосторонней кинематикой), III этап – постсеноманский (рост Центрально-Аригольского и Охтеурского локальных поднятий и образование грабенообразных структур в их купольных частях), IV этап - современный (развитие сдвиговых образований в пределах верхней части осадочного чехла, как новых, так и унаследованных).
- 4. Рассмотренные площади являются отображением довольно сложной тектонической истории развития региона. Выделенные структурные элементы, на самом деле, являются фрагментами структур более высокого ранга, а тектонические подвижки многоактными.
- 5. Разрывы, выделяемые на различных уровнях являются составной частью более крупной структуры Коликъеганского магистрального разлома (сдвига). Этот мегаразрыв по-разному выражен в различных частях разреза и на различной глубине.

- 6. Согласно теории формирования сдвиговых зон (кулисообразные системы структур) на ранней стадии зарождающегося сдвига в пластичном чехле накулисообразно чинается образование серии ориентированных антиклинальных и синклинальных складок. Аригольское и Охтеурское поднятия в современном структурном плане можно интерпретировать как вышеупомянутые «складки», вероятно, сформированные на этапе развития постгерцинских деформаций. Их основное простирание совпадает с простиранием разделяющего их Охтеурско-Аригольского прогиба, с генеральным направлением сдвиговых кулисообразных зон. По-видимому, сами по себе эти структуры являются составной частью еще более крупной сдвиговой зоны, выделение которой возможно лишь в масштабе самой Западной Сибири.
- 7. Согласно карте месторождений нефти и газа Западной Сибири Аригольское и Охтеурское поднятия включают в себя сравнительно малоразмерные месторождения нефти, являющиеся составной частью протяженной цепочки месторождений, прослеживающейся в юго-запад – северо-восточном направлении от Южно-Проточного и Горстового месторождений в юго-западной части Александровского мегавала до Малосикторского и Хохряковского месторождений его северо-востоке. Этот факт предположение о том, что месторождения, приуроченные к выделенной зоне, маркируют собой магистральное направление более крупной сдвиговой зоны. Согласно аналитическим данным, рассмотренным авторами выше, эта зона имеет сложное внутреннее строение, где основными элементами ее строения являются локальные поднятия и прогибы, кулисообразно распределенные в пределах этой зоны, а их купольные и бортовые части осложнены сдвиговыми зонами более мелкого ранга. Они-то и картируются в пределах отдельных площадей, позволяя, в целом, восстановить общую картину тектонического строения района исследований.

- 1. Воронов П.С., Бережной В.А., Бондаренко П.М. и др. Роль сдвиговой тектоники в структуре литосфер Земли и планет земной группы. СПб: Наука. 1997. 591 с.
- 2. Шерман С.И., Семинский К.Ж., Борняков С.А. и др. Разломообразование в литосфере. Зоны сдвига. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние. 1991. 262 с.