

ТЕКТОНИКА И ДИНАМИКА ЗЕМНОЙ КОРЫ СРЕДНЕГО УРАЛА И ПРИУРАЛЬЯ**Введение**

К настоящему времени хозяйственная деятельность в горно-промышленных районах достигла такого масштаба, что ее последствия начали оказывать активное влияние на геологические процессы. При эксплуатации месторождений полезных ископаемых производится выемка и перемещение огромных масс горных пород, приводящие к нарушению равновесия геологической среды, которое она восстанавливает иногда с катастрофическими для человека последствиями. Но, несмотря на очевидную необходимость предупреждения катастроф, связанных с добычей полезных ископаемых, проблема эта не привлекла к себе должного внимания ни в прикладном аспекте, ни в фундаментальной области. Поэтому, как следствие, нет и методик, позволяющих изучать воздействие техногенных факторов на состояние геологической среды, прогнозировать их развитие в пространстве и времени и эффективно управлять ими. Для горно-промышленного Урала решение этой проблемы особенно важно, поскольку на его территории есть как минимум семь крупных районов, в которых уровень воздействия техногенных факторов на геологическую среду оценивается как потенциально опасный [5 и др.]. Одним из них является Соликамско-Березниковский, на территории которого с 1932 г. ведется эксплуатация крупнейшего в мире Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (ВКМКС), месторождений нефти и подземных вод. Бесконтрольное техногенное воздействие на геологическую среду привело к тому, что она оказалась в состоянии неустойчивого равновесия, признаками которого являются геодинамические явления, в том числе такие грозные, как землетрясения. Не случайно здесь за последние годы произошли два крупных катастрофических события на третьем Березниковском (1986) и втором Соликамском (1995) рудниках.

К важнейшей задаче, подлежащей решению в рамках этой проблемы, следует прежде всего отнести изучение строения и свойств геологической среды на разных масштабных уровнях, поскольку ее тектоника и динамика в первую очередь определяют динамическую ситуацию в конкретном районе. Среди множества структурно-тектонических элементов, из которых состоит геологическая среда, наибольшее значение для изучения напряженно-деформированного состояния среды и оценки техногенной нагрузки имеют разломы и ограниченные ими блоки горных пород. При движении блоков вдоль разломных зон происходит накопление упругой энергии и ее разрядка, проявляющаяся в виде различных сейсмических событий: землетрясений, горных ударов, обрушений, сейсмоакустической эмиссии и др. Безоговорочное признание того факта, что землетрясения, особенно мелкие, порождаются разломами земной коры, известный японский сейсмолог К. Касахара (1985) считает одним из наиболее значительных достижений современной сейсмологии.

Настоящая работа посвящена изучению разломно-блоковой тектоники Верхнекамского месторождения калийных солей для оценки его динамического состояния. Решение этой задачи мы разделили на два этапа. На первом был выполнен региональный анализ тектоники и динамики территории Среднего Урала и Приуралья, включающей в себя площадь ВКМКС, второй этап исследований проводился в более крупном масштабе непосредственно для площади месторождения (в наст. выпуске). В данной работе освещаются результаты первого этапа исследования.

Основные понятия и положения

Блочно-иерархическое строение породного массива является важным фактором, влияющим на динамический режим верхней части земной коры и осадочного чехла любого региона [1]. В зонах разломов, разделяющих блоки, всегда существуют области концентрации напряжений (Садовский, 1979; Григорян, 1988). Геоматериал в этих областях обладает пониженной прочностью и повышенной деформируемостью по сравнению с геоматериалом контактирующих по разлому блоков. Поэтому тектоническое или техногенное (или их сумма) воздействие по достижении предельных напряжений приводит к его разрушению. Разрушение может произойти в

в статической форме, а может - в динамической, когда часть накопленной энергии переходит в энергию сейсмических волн. Блоки в земной коре находятся в постоянном взаимодействии, движении как в естественных условиях существования земной коры, так и в тех случаях, когда деформирование возникает под действием изменения ее напряженного состояния, вызванного крупномасштабными хозяйственными работами (техногенные геодинамические события). В шахтах и рудниках границы блоков могут определяться не только явными трещинами или разломами, но и ослабленными зонами и визуально не просматриваться, но потеря устойчивости блочной системы может привести к значительным сейсмическим эффектам (Тряпицын, 1991). Таким образом, тектонический фактор однозначно определяет распределение естественных землетрясений и в значительной степени влияет на геодинамические события, обусловленные техногенными причинами. Этому же положению придерживаются и некоторые исследователи ВКМКС. Например, в работе [6] отмечается, что "происхождение практически всех изученных аномальных зон предохранительной толщи прямо или косвенно связано с историей тектонического развития солеродного бассейна ВКМКС" (с. 363).

Активные глубинные разломы - это зоны подвижного сочленения блоков земной коры и подстилающей части верхней мантии протяженностью во многие сотни и тысячи километров при ширине, достигающей нескольких десятков километров. Они характеризуются очень значительной продолжительностью развития и существования. Одной из важных задач при сейсмическом районировании является выделение активных разломов. Существуют различные определения понятия "активный разлом". Используя предложения В. Г. Трифонова (1990) и К. Г. Леви (1991), мы предлагаем следующее определение этого понятия. Активный разлом - это объемное геологическое тело, контролирующее очаги землетрясений и медленные движения блоков земной коры, приводящие к изменению рельефа дневной поверхности и широкому развитию пластических деформаций горных пород и трещиноватости. Задачу выявления активных разломов можно решать двумя путями: путем изучения сейсмичности в зоне разлома и путем изучения строения внутриразломной зоны. Первый способ при наличии разветвленной сети сейсмических станций является более предпочтительным, т. к. сейсмическими исследованиями определяют положение и контуры сейсмически активного участка разлома, а также его сейсмическую активность в баллах, магнитудах и энергиях. Второй способ основан на том, что при движении блоков происходит изменение как структурного плана в зоне разлома, так и рельефа дневной поверхности. В связи с этим еще М. В. Гзовским (1975) отмечалось, что наиболее частые и сильные землетрясения в сейсмических поясах находятся в районах: наибольшей структурной дифференциации земной коры, наиболее дифференцированного рельефа дневной поверхности тектонического происхождения, развития поперечных к простиранию сейсмической зоны структур. Решение задачи как первым, так и особенно вторым способом выполняется с применением геофизических методов.

Современная повышенная активность глубинных разломов установлена в разных регионах бывшего СССР путем специальных геодезических и геофизических наблюдений [7]. Зоны разломов характеризуются аномалиями градиентов вертикальных движений дневной поверхности и временными изменениями гравитационного и магнитного полей. При изучении зоны сейсмичности БАМа установлено (Шерман, 1984), что кайнозойская активизация неотектонических движений происходила главным образом по уже существующей сети разломов. В Западной Сибири 90 % разломов фундамента проявляются в современном рельефе дневной поверхности (Орлова, 1975). На Урале (Плюснин, 1983) признаки блоковой тектоники развиты на всей территории этого региона, и наиболее сильные землетрясения связаны с неогеновыми движениями по разломам, имевшим более древнее заложение. Приведенные результаты подчеркивают высокую степень наследованности движений блоков по глубинным разломам, в том числе и древним, на современном этапе развития.

Разломы-сдвиги отличаются повышенной сейсмической активностью. По результатам исследований на территории СССР отмечены (Горшков, 1986) ведущая роль именно тектонических сил в современных горизонтальных движениях и значительное преобладание горизонтальной составляющей современных движений земной коры над вертикальной в ее верхних горизонтах. На эти же особенности указывается в работах С. И. Шермана. На Урале (Плюснин, 1994) для кинематики молодой неогеновой блоковой тектоники свойственны только правые сдвиги. Такого же кинематического типа разломы выделены нами в Соликамской впадине по геофизическим данным [8]. Отмеченные выше особенности кинематики движений по разломам согласуются с результатами

изучения напряженного состояния земной коры Урала и Приуралья [9]. Напряжения, измеряемые на рудниках Урала, обусловлены действием литостатического давления и тектонических сил. Горизонтальные напряжения тектонической составляющей в 10-15 раз превосходят горизонтальную компоненту напряжений, обусловленную литостатическим давлением. Широтные горизонтальные напряжения повсеместно являются сжимающими, меридиональные - бывают как сжимающими, так и растягивающими. Другой важный вывод заключается в том, что региональное поле напряжений Урала остается стабильным на протяжении последних 20-30 млн лет. При наблюдаемой ориентировке главных направлений разрядка напряжений в земной коре должна осуществляться преимущественно по разломам меридионального и широтного простираний. Поэтому такие разломы должны наиболее ярко проявляться в физических полях, рельефе дорифейского фундамента, современных движениях. Справедливость последнего вывода обоснована в работе [4].

Приведенные материалы свидетельствуют о том, что разломы типа горизонтального сдвига являются наиболее активными на современном этапе, и на Урале в первую очередь это относится к сдвигам меридионального и широтного простираний.

Особое внимание при изучении разломно-блоковой тектоники уделяется узловым структурам - узлам пересечения разноориентированных разломов. Установлено, что наиболее сильные землетрясения происходят в таких структурных узлах [1]. В Восточных Карпатах наблюдается четкая приуроченность эпицентров землетрясений к узлам пересечения диагональных разломов (Чекунов, 1998); катастрофическое Спитакское землетрясение 1998 г. произошло в узле пересечения трех разломов (Рогожин, 1990) и т.д. По приведенным и другим многочисленным примерам намечается общая закономерность, заключающаяся в повышенной сейсмической активности узловых структур, и некоторые исследователи стали использовать эти структуры как один из главных прогнозных признаков современной сейсмической активности.

Законы разломообразования [1] отражают закономерности структурообразования в земной коре и имеют характер принципов. Разломы изучаются чаще комплексом геофизических, геолого-геоморфологических и других методов. Для объективности анализа совокупной информации различных методов необходимо опираться на некоторые основополагающие принципы. Это принципы системности и автомодельности [9]. Существование систем разломов В. Е. Хаин (1975) рассматривает как явление планетарного масштаба, имеющее фундаментальное значение для понимания и разработки динамической модели Земли. Система разломов - это упорядоченная в пространстве и времени совокупность тектонических структур различного ранга, образовавшихся в один этап тектогенеза. Внутри системы разломы имеют близкие азимуты простирания, а расстояния между ними образуют геометрическую прогрессию с показателем, близким к 2.

Из принципа автомодельности следует, что процесс деформирования среды носит общий характер, при этом свойства материала играют подчиненную роль. Из этого следует, что сетка разломов складчатого Урала и Приуралья должна быть единой (см. рисунок). Общность тектонического развития систем разломов обеих структур подтверждается результатами геофизических исследований (Кассин, Дружинин, Рыбалка, 1985) и позволяет определять возраст формирования секущих глубинных разломов субширотного направления [2]. Все выделенные системы разломов (см. рисунок) по их простиранию объединяются в две группы. Первая представлена хорошо выраженной в геофизических полях и в структурно-фациальных зонах Урала меридиональной системой и менее отчетливо - широтной [3].

Вторая группа образована диагональными системами разломов со средними азимутами простирания 315 и 45°. Иерархичность блоков земной коры наиболее отчетливо проявилась для систем широтных разломов разных рангов. Расстояние между разломами первого ранга в среднем составляет 600 км, между разломами первого и второго рангов - 300 км, между разломами второго и третьего рангов - 140 км. Аналогичные размеры блоков коры установлены на Украинском щите (Тяпкин, 1986).

Оценка активности того или иного участка земной коры и выделение зон потенциальной сейсмичности определяются по пространственному распределению землетрясений. Для рассматриваемой территории простейшая статистика показывает, что из общего числа эпицентров землетрясений, равного 46, 89 % из них совпадают с зонами разломов (см. рисунок). При этом принималось во внимание, что если эпицентры располагаются внутри зоны динамического влияния разлома, равной ширине 20 км, то землетрясения связывались с влиянием этого конкретного разлома.

Число совпадающих с разломами землетрясений могло быть больше, если ширину зоны влияния увеличить до 40 км, как это сделано при изучении сейсмичности Байкальской зоны (Рундквист, 1999). Таким образом, выявленные на Среднем Урале соотношения между разломами и эпицентрами землетрясений подтверждают пространственную и генетическую связь между ними, установленную в других регионах. Это первая особенность сейсмичности Среднего Урала. Заметим, что карта разломов была составлена задолго до картографирования сейсмоопасных зон Урала.

Вторая особенность состоит в приуроченности землетрясения к зонам наиболее крупных меридиональных разломов: Главному Уральскому (на рисунке под номером 1) и Красноуфимскому (№2). При этом сейсмичность вдоль названных разломов проявляется не по всей их длине равномерно, а дискретно на отдельных интервалах. Например, эпицентры землетрясений в зоне Красноуфимского разлома сосредоточены практически только на одном участке – от широты г. Соликамска на севере до г. Перми и чуть южнее.

Третья особенность заключается в связи землетрясений Урала с отдельными блоками земной коры. Таких блоков два: Соликамско-Березниковский и Южно-Уральский (см. рисунок). К первому блоку приурочены 26 эпицентров землетрясений, то есть больше половины общего их числа; ко второму – 12. Эта особенность выражена достаточно четко и свидетельствует об избирательной сейсмической активности отдельных блоков земной коры, обладающих повышенной мобильностью движений. Наблюдаемая избирательность согласуется с представлениями М. А. Садовского: "Землетрясения, отвечающие блокам, размеры которых совпадают с моделями иерархического распределения, происходят чаще. То есть землетрясения связаны с отдельными блоками земной коры, по тем или иным причинам теряющими устойчивость." [1]. В пределах названных блоков эпицентры землетрясений располагаются вдоль ограничивающих их разломов или сосредоточены в узловых структурах. В последнем случае показателен Соликамско-Березниковский блок, во внутренней части которого семь эпицентров находятся (см. рисунок) на участке пересечения трех разломов: двух диагональных и меридионального – Западно-Уральского (№3). Оба блока располагаются в краевых частях Уфимского выступа Русской плиты. Особая роль этого выступа в распределении тектонических напряжений отмечалась ранее Вейс-Ксенофоновой З.Г. (1940) и Кузнецовым Е.А. (1971). Исследования показали, что наиболее значительные по величине горизонтальные широтные наблюдения в районе между городами Екатеринбург и Челябинск. Концентрация этих напряжений здесь генетически связывается с Уфимским выступом и приводит к развитию глубинных сдвигов СВ и СЗ направлений с преимущественным горизонтальным смещением блоков при небольшой амплитуде вертикальных подвижек [9].

Высокая роль разломно-блоковой тектоники в современных движениях подтверждается специальными инструментальными измерениями по сети региональных профилей. Анализ карты вертикальных движений и деформаций земной коры Урала (Блюмин, Улитин, 1983) показал, что около 80 % аномалий градиентов скоростей вертикальных движений и 84 % аномалий деформаций совпали в плане с зонами выделенных нами разломов. Удовлетворительное совпадение разломов с аномальными зонами современных движений, по-видимому, адекватно отражает распределение разрывных нарушений, определяющих динамику тектонических процессов.

Заключение

1. Блоковая делимость земной коры изучаемой территории подтверждает справедливость принципов системности и автомодельности. На Среднем Урале и в Приуралье они наиболее четко выражены для ортогональной сети глубинных разломов меридионального и широтного простираний.

2. Наблюдается тесная пространственная связь сейсмопроявлений с глубинными разломами: большинство эпицентров землетрясений совпадают с зонами этих разломов. Такая же связь просматривается между разломами и аномалиями градиентов скоростей вертикальных современных движений по данным повторных нивелировок. Оба этих факта свидетельствуют о решающей роли глубинных разломов в распределении аномальных тектонических напряжений на современном этапе тектогенеза.

3. На фоне невысокой сейсмичности Среднего Урала и Приуралья заметно выделяются два блока с повышенной плотностью эпицентров землетрясений: Соликамско-Березниковский и Южно-Уральский.

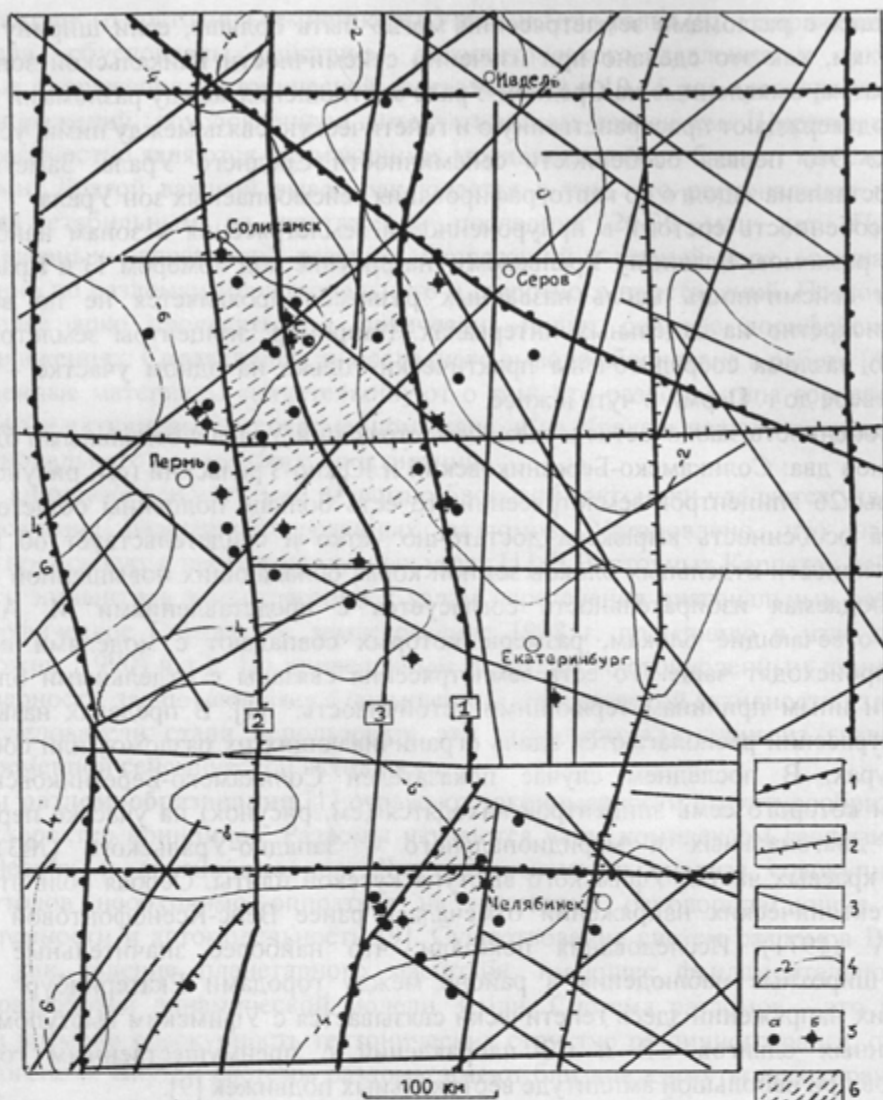


Схема глубинных разломов Среднего Приуралья и Урала:

1-3 – осевые линии зон глубинных разломов: 1 – первого ранга; 2 – второго ранга; 3 – третьего ранга; 4 – изолинии скоростей вертикальных современных погружений земной коры в мм/год; 5 – эпицентры землетрясений амплитудой до 4 (а) и от 4 до 6 (б), по О. А. Кусонскому; 6 – блоки земной коры с повышенной сейсмичностью

4. Закономерная связь между разломно-блоковой тектоникой и новейшими движениями земной коры указывают на то, что главной причиной современных геодинамических событий является тектонический фактор. Следовательно, изучение тектонического строения конкретного участка или территории является необходимым условием в прогнозировании места возможных землетрясений как естественных, так и, по-видимому, техногенных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дискретные свойства геофизической среды. - М.:Наука, 1989. – 173 с.
2. Кассин Г.Г. Определение возраста разломов Урала по геофизическим данным // Опыт применения и пути улучшения методики геофизических исследований на рудных и нерудных месторождениях. - Свердловск: Изд-во СГИ, 1988. - С. 27-33.
3. Кассин Г.Г., Шершнев К.С. Разломы Среднего Приуралья // Разломы земной коры Урала и методы их изучения. – Свердловск: Изд-во УНЦ АН СССР, 1983. - С. 48-53.

4. Кассин Г.Г., Филатов В.В. Закономерности блоковой делимости земной коры Урала //

Геофизические методы поисков и разведки рудных и нерудных месторождений. – Свердловск: Изд-во СГИ, 1990. – С. 3-8.

5. Кашубин С.Н. и др. Картографирование сейсмоопасных зон и территорий Уральского региона // Изв. вузов. Горный журнал. Уральское горн. обозрение. – 1998. – № 7-8. – С.123-134.

6. Петротектонические основы безопасной эксплуатации Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей / Под ред. Н. М. Джиноридзе. – СПб. - Соликамск: ОГУП. - 2000. - 400 с.

7. Сидоров В.С. и др. Современная геодинамика и нефтегазоносность. - М.: Наука, 1989. - 280 с.

8. Филатов В.В., Кассин Г.Г., Попов Б.А. Геофизические исследования на Верхнекамском месторождении калийно-магниевого солей // Изв. вузов. Горный журнал. Уральская горн. обозрение. - 1995. - № 6. - С. 150-161.

9. Филатов В.В. Теория и практика геодинамического анализа гравитационного поля (на примере рудных районов Урала): Автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. - Свердловск, 1990. - 31 с.

УДК 563.713

О.В. Богоявленская, Е.В. Коророва

СТРОМАТОПОРАТЫ КАК ОСНОВНЫЕ РИФООБРАЗОВАТЕЛИ В УРАЛЬСКОМ ПАЛЕОБАССЕЙНЕ (ОРДОВИК, СИЛУР)

Рифогенные образования в среднем палеозое Урала установлены в XIX столетии, когда Ф.Н. Чернышев указал на присутствие в разрезах девона массивных, светлых известняков, которые он назвал герцинскими за сходство с подобными известняками в Западной Европе. Однако фациальная природа “герцинских” известняков начала обсуждаться значительно позднее – с шестидесятых годов XX века, когда по инициативе Р.Ф. Геккера в СССР начали проводиться выездные эколого-палеонтологические сессии, одна из которых состоялась на Урале (1965), где участниками были продемонстрированы пермские рифы Приуралья. Большую роль в познании рифообразующих организмов сыграли всесоюзные симпозиумы по изучению ископаемых кораллов и рифов, организатором которых был академик Б.С. Соколов (1963-1993). Уральские геологи, ведущие геолого-съёмочные работы, столкнулись с картированием рифогенных толщ как на западном, так и на восточном склонах Урала. Если в отложениях карбона и ранней перми в Предуральском краевом прогибе рифы были известны и относительно хорошо изучены в связи с поисками и добычей нефти, то в зонах передовой уральской складчатости в отложениях раннего и среднего палеозоя (западный склон Урала), в Тагило-Магнитогорском мегасинклинии (восточный склон), рифы стали изучаться во второй половине XX столетия. Нельзя не отметить работы В.Г. Варганова, В.П. Мухиной, Г.А. Степановой, В.П. Шуйского. Не все материалы этих авторов опубликованы, но они первыми на Урале картировали рифогенные толщи, доказав их фациальную принадлежность.

Во второй половине XIX в. была установлена рифообразующая роль строматопорат в отложениях раннего и среднего палеозоя Западной Европы [11, 12, 17], Северной Америки [8, 10], Австралии [15, 16]. Сейчас уже никто не сомневается в том, что строматопоратам, наряду с водорослями, принадлежит основная рифообразующая роль. В статье будет приведен состав строматопорат из органогенных построек для определенных возрастных интервалов рифообразования, который может служить основой для межрегиональных корреляций.

Авторы статьи пользовались терминами биостром, биогерм, риф, органогенная постройка, калиптра. Расположение изученных разрезов показано на рис.1