

6. Семенов Б.Г., Сухоруков А.М., Казачихин В.А. Дополнительные возможности гравиметрии при изучении структур Зауралья на примере месторождений Серовского угленосного района // Геология угольных месторождений. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2001. Вып. 11. С. 147–154.

7. Страхов В.Н. Математическое моделирование в теории интерпретации гравимагнитных полей // Математическое и физическое моделирование железорудных месторождений и рудных полей. Новосибирск: СНИИГиМС, 1983. С.7–17.

УДК 550.83+551.24

Г.Г. Кассин, В.В. Филатов

## МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ТРЕЩИНОВАТОСТИ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ

В ряде наших работ, посвященных вопросам тектонического строения Верхнекамского месторождения калийных солей и прогнозирования на ее территории динамических событий, было показано, что основными структурно-тектоническими элементами строения геологической среды, с которыми связаны очаги этих событий, являются активные разломы, узловые структуры и трещинные зоны [3, 8 и др.]. В настоящей статье излагаются методика и результаты изучения зон трещиноватости, под которыми понимается “множество примерно параллельных трещин совместно развитых в малом объеме массива” горных пород [6], а также взаимосвязь трещинных зон с различными структурами месторождения.

Верхнекамское месторождение в структурном отношении находится в центральной части Соликамской впадины Предуральяского краевого прогиба. Соляная залежь кунгурского возраста, залегающая среди терригенно-карбонатных пород, представляет собой линзообразное тело мощностью до 500 м, вытянутое в меридиональном направлении на 200 км, в широтном – до 50 км. Надсолевые отложения представлены (сверху вниз) двумя толщами: терригенно-карбонатной и соляно-мергельной. Поверхность кристаллического фундамента в районе месторождения находится на глубине 5–6 км.

Трещины в осадочной толще месторождения по генезису делятся на экзогенные и тектонические; по кинематике – на сколовые и отрывные. Экзогенные трещины выветривания и разгрузки, как и на всей Русской платформе, сравнительно неглубокие (первые десятки метров), развиты унаследованно по ранее сформировавшимся системам трещин и не представляют большого значения для изучения и прогнозирования динамических событий. Тектонические трещины делятся на планетарные, соскладчатые и приразломные. Планетарные трещины не связаны с какими-либо структурами. Они равномерно распределены по всей территории месторождения в виде систем (для Русской платформы характерны ортогональная и диагональная системы планетарных трещин), образуя региональный фон, на котором развиваются соскладчатые и приразломные трещины. Важнейшей особенностью этих двух видов трещин является то, что они концентрируются в пределах локальных участков геологической среды.

Трещины отрыва, в отличие от сколовых трещин, повышают проницаемость среды и как следствие способствуют интенсификации фильтрационных процессов, снижению прочности пород и уменьшению силы сцепления между блоками.

Таким образом, из всего многообразия генетических и кинематических видов трещин наибольший интерес для прогнозирования динамических событий в геологической среде месторождения имеют соскладчатые и приразломные трещинные зоны отрывного типа, выявление и изучение которых осуществляется геологическими и геофизическими методами.

Геологическими методами трещиноватость изучается в основном в горных выработках. В.А. Вахромеевой установлена связь сколовых и отрывных трещин со складчатостью; закартированы субвертикальные трещины, простирающиеся на десятки метров в меридиональном направлении, генезис которых ей установить не удалось [2]. О.Ф. Корочкина наблюдала в Тверитинской мульде трещины скола и отрыва, образующие зоны шириной 200–400 м северо-западного простираения [5]. С.А. Филиппов и О.Ф. Корочкина обнаружили крутопадающие трещины отрыва северо-восточного ( $10-42^\circ$ ) и северо-западного ( $285-310^\circ$ ) простираения протяженностью до 90 м, пересекающие сразу несколько продуктивных пластов [9]. Системы тектонических трещин в надсоляной терригенно-

карбонатной толще наблюдал Н.М. Джиноридзе [7]. Р.Н. Валеев и А.К. Вишняков показали, что галогенная толща испытывает не только пластические, но и хрупкие деформации благодаря мгновенной разрядке напряжений в разломах и трещинных зонах. Подсолевые и поверхностные воды, просачиваясь по трещинам, способствуют широкому развитию процессов катагенетического и гипергенного выщелачивания солей и замещению первичных солей вторичными. По данным В.И. Копнина, надсолевые отложения образуют достаточно жесткий слоистый комплекс, внутри которого могут образовываться и образуются экзогенная и эндогенная трещиноватости. Эндогенная галокинезная трещиноватость формируется в надсоляной толще в результате растяжения слоев при куполообразовании или в результате раскрытия ранее образованных трещин при сползании пород на крыльях соляных куполов [4].

Результаты визуального изучения трещиноватости свидетельствуют:

- тектонические трещины, прежде всего трещины отрыва, образуя тектонические зоны шириной до 400 м и длиной по простиранию до первых километров, разуплотняют значительные объемы геологической среды;

- преимущественно северо-западная и северо-восточная ориентировки в простирании отдельных трещин и трещинных зон указывают на то, что значительная их часть имеет тектоническую природу;

- наличие открытых трещин в солях свидетельствует о том, что в них в настоящее время происходят деформационные процессы, поскольку трещины в солях "залечиваются" очень быстро.

Геологические исследования позволяют получать, хоть и непосредственное, но только эпизодическое представление о пространственном положении трещинных зон. Опосредованно, но зато на всей территории месторождения трещиноватость можно картировать геофизическими методами. При деформировании геологической среды происходит изменение всех ее физических свойств. Поэтому в принципе все геофизические методы могут быть использованы для изучения трещинных зон. Реально же наиболее сильно изменяется плотность среды. Поэтому самым эффективным методом картирования трещинных зон является высокоточная площадная гравиметрия в комплексе с другими геофизическими методами.

Фактической геофизической основой для картирования трещинных зон послужили результаты гравиметровой (масштаб 1:25000) и аэромагнитной (масштаб 1:10000) съемок, профильных электроразведочных (метод ВЭЗ) и сейсмических работ, а также результаты геоморфологической съемки масштаба 1:100000.

Интенсивность отрицательных локальных аномалий в поле силы тяжести (микрогравитационные аномалии), обусловленных трещинными зонами, невелика. Нередко она сопоставима с погрешностью гравиметровой съемки. На плане изоаномал эти аномалии проявляются нечетко. Более уверенно их пространственное положение устанавливается по плану графиков остаточного поля, полученному методом графического осреднения результатов редуцированного наблюдаемого поля. Надежность картирования микроаномалий в этом случае определяется количеством профилей, на которых их удастся выделить, т. е. задача картирования решается путем межпрофильной корреляции микроаномалий (рис. 1).



Рис. 1. Графические формы представления результатов обработки наблюдаемых значений поля силы тяжести:

А – план изоаномал; Б – план графиков остаточных аномалий; пунктиром показаны контуры отрицательных микрогравитационных аномалий

Таким образом, было выявлено около 200 микроаномалий, источники которых отождествляются с трещинными зонами. Оснований или признаков для такого отождествления есть, по крайней мере, три:

- морфология микроаномалий – отрицательный знак, малая интенсивность, форма и размеры в плане;
- пространственное совпадение микроаномалий с аномалиями других геофизических полей, что наблюдается не всегда;
- закономерности пространственного расположения микроаномалий на территории месторождения.

Вполне очевидно, что совокупность этих признаков является не исчерпывающей для однозначного картирования трещинных зон. Но, как показывает опыт, в статистическом плане, в среднем, с помощью этих признаков поставленная задача решается удовлетворительно. На рис. 2 показаны результаты сейсмических исследований, выполненных восточнее г. Соликамска, в районе отрицательной аномалии силы тяжести, где в 1995 г. произошло землетрясение. По сейсмическим данным, геологическая среда здесь сильно нарушена системой субвертикальных разрывов, пронизывающих как надсолевою толщу, так и продуктивный соленосный горизонт. Процесс трещинообразования привел к разуплотнению среды, что и нашло отражение в поле силы тяжести. Этот, а также ряд других примеров позволяют нам утверждать, что источниками микрогравитационных аномалий в геологическом отношении являются трещинные зоны.

Каковы же закономерности в расположении трещинных зон на территории месторождения? (рис. 3).

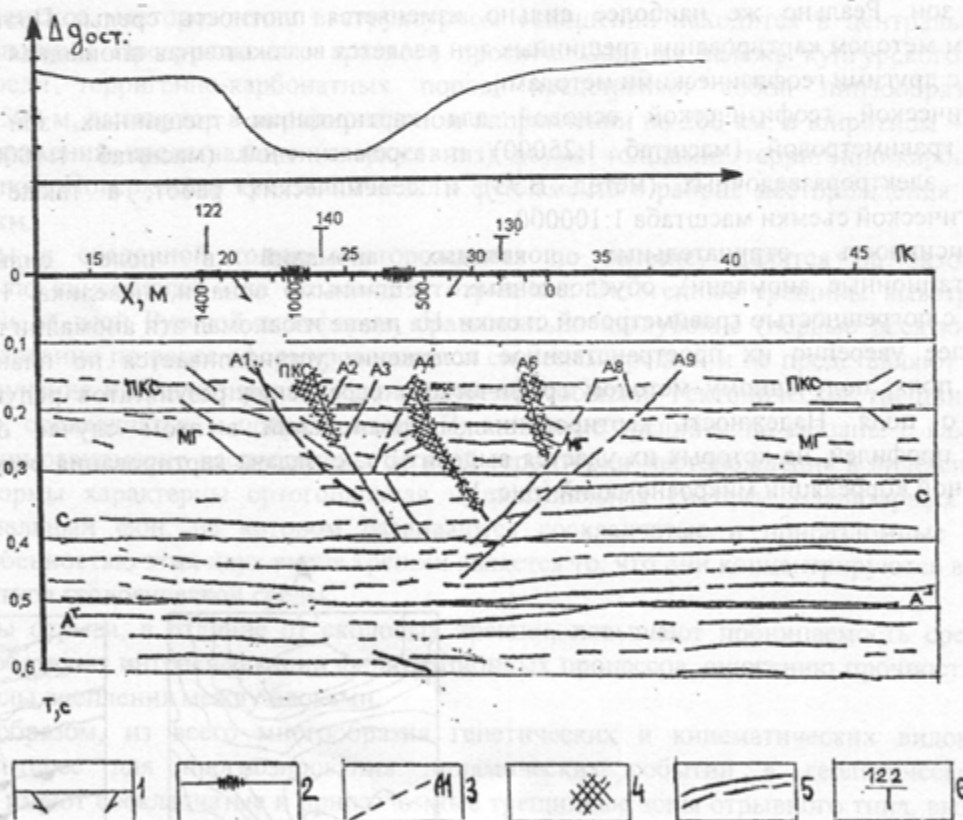


Рис. 2. Картирование трещинной зоны сейсмическим и гравитационным методами в районе рудника СПКРУ-2 по 7:

1 – границы участка прогибания дневной поверхности; 2 – положение участков трещиноватых пород на дневной поверхности; 3 – положение разрывов по сейсмическим данным; 4 – зоны отсутствия отражений сейсмических волн; 5 – положение отражающих площадок и горизонтов; 6 – положение скважин и их номеров. Опорные сейсмические горизонты: ПКС – покровная каменная соль, МГ – маркирующий горизонт в соляной толще, С – кровля подсолевых отложений, А<sub>7</sub> – кровля терригенной толщи артинского яруса. В верхней части рисунка приведена кривая остаточной аномалии силы тяжести

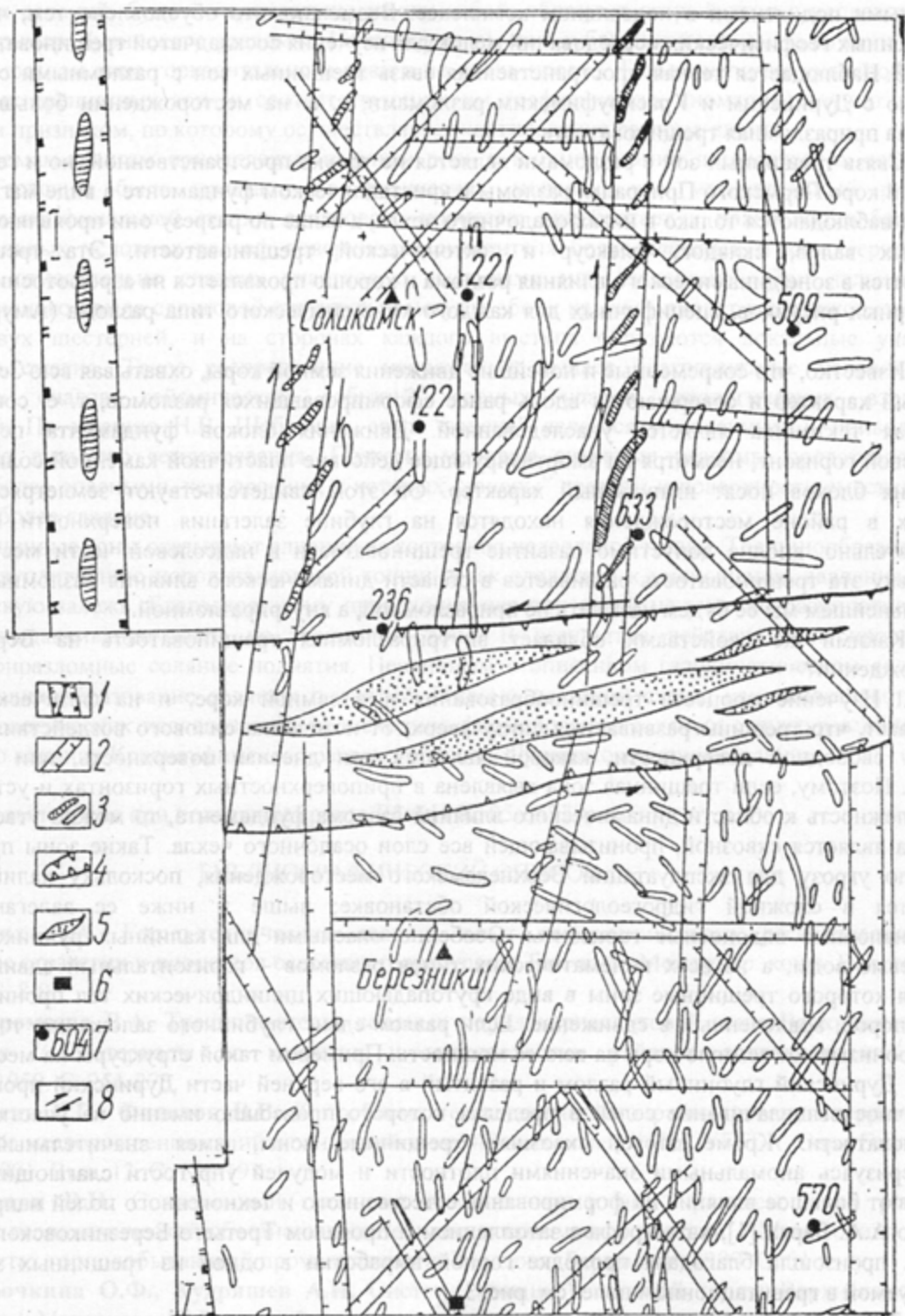


Рис. 3. Схема расположения разломных структур и микрогравитационных аномалий:

1 – границы Красноуфимского разлома и положение в его пределах брахiantиклиналичных поднятий по кровле солей; 2 – границы других разломов; 3 – контуры микрогравитационных аномалий, выделяемых более уверенно (заштрихованы) и менее уверенно (незаштрихованы); 4 – границы Дуриинского прогиба по кровле солей; 5 – контуры интенсивных гравитационных аномалий, геологически обусловленных локальными погружениями в кровле солей; 6 – место провала дневной поверхности на Третьем Березовском калийном руднике; 7 – положение скважин и их номера; 8 – направление движения блоков вдоль разломов

1. По ориентации трещинные зоны образуют две системы: меридиональную и диагональную – северо-западного и северо-восточного простираний. Такая ориентация разрывов, как уже отмечалось, присуща планетарной трещиноватости на территории Русской платформы, частью которой является Соликамская впадина.

2. Отсутствует четкая пространственная связь трещинных зон с соляными структурами и локальными поднятиями в подсоляном комплексе. Возможно, это обусловлено тем, что масштаб выполненных геофизических исследований мелок для изучения складчатой трещиноватости.

3. Наблюдается тесная пространственная связь трещинных зон с разломными структурами, особенно с Дуринским и Красноуфимским разломами, т. е. на месторождении большое развитие получила приразломная трещиноватость.

Связь трещинных зон с разломами является не только пространственной, но и генетической. В земной коре Пермского Приуралья разломы в кристаллическом фундаменте в виде магистрального разрыва наблюдаются только в низах осадочного чехла, а выше по разрезу они проявляются в форме линейных валов, складок, флексур и тектонической трещиноватости. Эта трещиноватость развивается в зоне динамического влияния разлома и хорошо проявляется на аэрофотоснимках в виде характерных рисунков, специфичных для каждого кинематического типа разлома (Амурский и др., 1988).

Известно, что современные и новейшие движения земной коры, охватывая всю Землю, имеют блоковый характер и совершаются вдоль ранее сформировавшихся разломов, т. е. современная и новейшая тектоника является унаследованной. Движения блоков фундамента передаются в надсолевой горизонт, несмотря на амортизирующее действие пластичной каменной соли, поскольку движения блоков носят импульсный характер. Об этом свидетельствуют землетрясения, очаги которых в районе месторождения находятся на глубине залегания поверхности фундамента. Следовательно, вполне допустимо развитие трещиноватости в надсолевой части месторождения. Поскольку эта трещиноватость развивается в области динамического влияния разломных структур, то в дальнейшем мы ее будем называть не приразломной, а внутриразломной.

Какими же свойствами обладает внутриразломная трещиноватость на Верхнекамском месторождении?

1. Изучение процесса трещинообразования и в земной коре, и на физических моделях показывает, что трещины развиваются снизу вверх, от источника силового воздействия на среду в сторону свободной поверхности, каковой является или дневная поверхность, или поверхность модели. Поэтому, если трещинная зона выявлена в приповерхностных горизонтах и установлена ее принадлежность к области динамического влияния разлома фундамента, то можно утверждать, что эта зона является сквозной, пронизывающей все слои осадочного чехла. Такие зоны представляют большую угрозу для эксплуатации Верхнекамского месторождения, поскольку калийная залежь находится в сложной гидрогеологической обстановке: выше и ниже ее залегают мощные высоконапорные водоносные горизонты. Особенно опасными для калийных рудников являются надсолевые воды, а из всех кинематических типов разломов – горизонтальный сдвиг, в области влияния которого трещинные зоны в виде крутопадающих цилиндрических тел пронизывают всю толщу пород, вовлеченных в сдвиг. Если разлом-сдвиг глубинного заложения, то трещинные зоны пронизывают земную кору на всю ее мощность. Примером такой структуры на месторождении служит Дуринский глубинный разлом и развитый в его верхней части Дуринский прогиб, мощное выборочное выщелачивание солей в пределах которого произошло именно на участках развития трещиноватости. Кроме этого, сквозные трещинные зоны, имея значительный объем и характеризуясь аномальными значениями плотности и модулей упругости слагающих их пород, оказывают большое влияние на формирование естественного и техногенного полей напряжений. По мнению А.А. Барях [1], катастрофа с затоплением и провалом Третьего Березниковского рудника в 1986 г. произошла благодаря проходке горной выработки в одной из трещинных зон, хорошо картируемой в гравитационном поле (см. рис. 3).

2. Трещинные зоны располагаются дискретно вдоль области динамического влияния разлома: участки среды с аномально высокой плотностью трещин закономерно чередуются с участками относительно слабо трещиноватых пород. Расстояния между трещинными зонами, как правило, выдержаны, т. е. можно говорить о периодичности их расположения в плане с шагом от 2 до 5 км. По данным С.И. Шермана, расстояние между деструктивными участками зависит от скорости деформирования среды. По нашему мнению, расстояние между внутриразломными трещинными зонами определяется главным образом рангом разлома и подчиняется закону автомодельности. Так, например, в области влияния Красноуфимского разлома расстояние между валообразными поднятиями по кровле солей составляет около 5 км.

Трещинные зоны в плане имеют форму сильно вытянутых эллипсов, ориентировка больших осей которых относительно осевой линии разлома зависит от его кинематического типа. Для разломных структур типа сброса или взброса большие оси эллиптических сечений трещинных зон

параллельны осевой линии разлома (пример Красноуфимского разлома); для разлома-сдвига оси эллиптических сечений, будучи параллельны между собой, образуют острый угол с направлением сдвижения (пример Дуринского разлома). На платформах при субгоризонтальном залегании слоев закартировать разлом типа горизонтального сдвига не очень просто. Только наличие кулисообразно расположенных трещинных зон (и соответствующих им геофизических аномалий) служит порой единственным признаком, по которому осуществляется картирование разлома-сдвига.

3. Разломам-сдвигам принадлежит ведущая роль в инициировании динамических событий. Еще М.В. Гзовским было показано на физических моделях, что магистральный разрыв, образующийся на финальной стадии сдвигового процесса, приобретает в плане волнообразную форму. В реальных условиях рельеф поверхности сместителя более сложный и характеризуется чередованием относительно гладких участков с выступами или "зацепами". При дальнейшем движении активного крыла сдвиговой структуры выступы обоих крыльев входят в соприкосновение, как зубцы двух шестерней, и на сторонах каждого выступа образуются локальные участки растяжения и сжатия. Такое распределение напряжений создает благоприятные условия для возникновения очагов сейсмических событий: горных ударов, реологических взрывов, землетрясений. По мнению Н.В. Шебалина, срыв "зацепа" является мгновенным и приводит к возникновению сильного землетрясения. Поэтому молодые активные разломы представляются сейсмически более опасными, чем древние, у которых "зацепы" срезаны и поверхности сместителей относительно более гладкие.

4. Трещинные зоны оказывают влияние на состояние надсолевой толщи. Трещинообразование приводит к разуплотнению пород надсолевой толщи и как следствие к уменьшению давления этих пород на солевую залежь. Благодаря этому происходит переток солей на участки разуплотненной среды и их выдавливание вверх по трещинной зоне. В результате действия этих процессов образуются приразломные соляные поднятия. Первичным в описанном галокинетическом явлении выступает трещинообразование соляных поднятий. Именно по такой схеме, как свидетельствуют результаты геологических исследований, происходило формирование соляных структур в областях динамического влияния Красноуфимского разлома-сброса и Дуринского разлома-сдвига.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 02-05-64229.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Барях А.А. Горно-технические аварии: опыт геомеханического расследования // Моделирование стратегии и процессов освоения георесурсов: Тез. докл. Междунар. конф. Волгоград-Пермь, 2000. С. 8-9.
2. Вахромеева В.А. Трещиноватость соляных пород карналлитовой зоны Верхнекамского месторождения // Материалы по геологии и гидрогеологии районов соленакпления. Л.: Госхимиздат, 1959. С. 251-273.
3. Кассин Г.Г., Филатов В.В. К проблеме геодинамического районирования территории Верхнекамского месторождения калийных и калийно-магниевого солей // Изв. УГГГА. Сер.: Геология и геофизика, 2001. Вып. 13. С. 186-191.
4. Копнин В.И. Современный галокинез и связанные с ним процессы и их роль в формировании геодинамической обстановки на Верхнекамском месторождении // Мониторинг геол. среды на объектах горнодобывающей промышленности: Тез. докл. Березники, 1999. С. 51.
5. Корочкина О.Ф., Кудряшев А.И. Система трещин в соляной толще Верхнекамского месторождения // Материалы III Регионального совещания. Пермь, 1991. С. 16-24.
6. Кузнецов Н.В. О влиянии хозяйственной деятельности на геологическую среду в районе Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей // Изв. вузов. Горный журнал. Уральское горное обозрение. 1995. № 6. С. 179-181.
7. Петротектонические основы безопасной эксплуатации Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей // Под ред. Н.М. Джиноридзе. СПб – Соликамск: ОГУП Соликамск. типогр. 400 с.
8. Филатов В.В., Кассин Г.Г., Попов Б.А. Геофизические исследования на Верхнекамском месторождении калийно-магниевого солей // Изв. вузов. Горный журнал. Уральское горное обозрение, 1995. № 6. С. 150-161.
9. Филиппов С.А., Корочкина О.Ф. Проявление тектоники в продуктивной толще Верхнекамского месторождения калийных солей // Геотектоника. 1990. № 1. С. 64-67.