



На правах рукописи

Лукьянов Александр Евгеньевич

**ФОРМИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННОЙ ГИДРОГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ  
СТРУКТУРЫ ПЕТРОПАВЛОВСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ  
(ЮЖНЫЙ УРАЛ)**

Специальность 25.00.36 - "Геоэкология"

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Екатеринбург

2008

30 ЯНВ 2009

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

**Научный руководитель** – доктор технических наук, профессор  
**Тагильцев Сергей Николаевич**

**Официальные оппоненты:**

доктор геолого-минералогических наук,  
профессор

**Болтыров Владимир Босхаевич;**

кандидат геолого-минералогических наук

**Скалин Анатолий Владимирович**

**Ведущая организация** – Институт геологии и геохимии  
им. А.Н. Заварицкого УрО РАН, г. Екатеринбург

Защита диссертации состоится 29 декабря 2008 г в 9 часов на заседании диссертационного совета Д 212.280.01 при ГОУ ВПО «Уральский государственный горный университет» по адресу: 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, 3-й учебный корпус, ауд. 3326.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета

Автореферат разослан 28 ноября 2008 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



А.Б. Макаров

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность работы.** Рациональное использование геологической среды в горно-складчатых регионах возможно только при глубоком понимании закономерностей образования, развития и активизации тектонических структур в массивах горных пород. Современные тектонические движения вызывают деформации зданий, инженерных сооружений, горных выработок, дорог и трубопроводов, способствуют активизации экзогенных геологических процессов.

Изучение проблем, связанных с современной тектонической активностью, требует углубления представлений о механизме и энергетических источниках образования тектонических структур. Многие исследователи считают, что современная тектоническая активность является проявлением напряженно-деформированного состояния земной коры. На Урале горизонтальные напряжения фиксируются на относительно небольших глубинах и достигают нескольких десятков мегапаскаль. Тектонические напряжения оказывают всестороннее воздействие на состояние геологической среды, определяют многие аспекты как чисто хозяйственного, так и природоохранного использования верхней части земной коры.

Современные тектонические движения формируют участки относительного растяжения и сжатия и, соответственно, зоны открытых взаимосвязанных и закрытых трещин. Поэтому тектонические нарушения, активные в поле современных напряжений, в значительной степени определяют гидродинамическую структуру скальных массивов. Взаимосвязь тектонических и фильтрационных процессов в условиях напряженно-деформированного состояния массивов горных пород является актуальным направлением научных исследований.

Одно из базовых положений этого научного направления предполагает, что потенциальную активность и, соответственно, гидрогеологическую роль разломов можно оценить, анализируя их положение в поле современных напряжений. Изучение характеристик современного поля тектонических (геодинамических) напряжений позволяет повысить эффективность выявления и диагностики свойств активных разломов, а также даёт возможность прогнозировать и целенаправленно изучать тектоническую и гидродинамическую структуру массивов горных пород. Таким образом, исследование закономерностей образования современных активных тектонических структур позволяет комплексно решать гидрогеологические, инженерно-геологические и геоэкологические задачи.

**Идея работы.** Современная активность тектонических нарушений и гидрогеодинамическая структура скальных массивов определяется, главным образом, основными характеристиками геодинамического поля напряжений верхней части земной коры.

**Цель и задачи работы.** Целью работы является разработка методики комплексного изучения напряженного состояния и фильтрационной структуры массивов скальных горных пород. Необходимо выявить закономерности формирования пронизываемого пространства в массивах скальных горных пород

при воздействии современных геодинамических (тектонических) напряжений. В условиях техногенных изменений под влиянием разработки конкретного месторождения следует рассмотреть роль современных тектонических напряжений в формировании природно-техногенной гидродинамической структуры скального массива в плане и разрезе.

Для достижения цели научных исследований необходимо последовательное решение следующих задач:

1. Анализ современных представлений о закономерностях напряженно-деформированного состояния земной коры, рассмотрение механизмов формирования трещин и активных тектонических разломов.

2. Выявление эффективных методов определения ориентировки осей главных напряжений на основании изучения пространственной ориентировки трещин, линейamentos рельефа и тектонических структур.

3. Обоснование признаков активных тектонических нарушений и оценка роли геодинамического напряженного состояния в их активизации.

4. Анализ представлений о фильтрационной структуре скальных массивов, свойствах проницаемого пространства и особенностях движения подземных вод в трещинных коллекторах.

5. Обоснование методов выявления потенциально водоносных тектонических нарушений и поисковых признаков участков, перспективных для устройства водозаборов и дренажей.

6. Анализ закономерностей изменения количества и степени раскрытия трещин с глубиной в условиях напряженного состояния скального массива.

7. Изучение гидрогеодинамической структуры скального массива в разрезе и оценка степени влияния современного напряженного состояния на формирование тектонической стратификации верхней части геологического разреза.

**Исходные материалы и личный вклад.** В основу диссертационной работы положен материал, собранный и проанализированный автором в период 2006–2008 гг. в процессе выполнения геоэкологических, гидрогеологических и инженерно-геологических работ, направленных на создание режимной сети на месторождении «Юбилейное», ведении работ, направленных на водоснабжение горного предприятия за счет подземных вод, прогноза водопритоков в открытые горные выработки рудника Хайбуллинский, бурения и опробования контрольно-стволовых скважин на участках расположения проектируемых шахтных стволов, опытно-фильтрационных работ на участке шламохранилища. Автор активно участвовал в проведении полевых, лабораторных и камеральных работ. В результате исследований подготовлено и передано заказчику пять производственных отчетов.

В процессе работ автором был собран и проанализирован материал по результатам разведочных работ на месторождении «Юбилейное», выполнен геомеханический и геолого-структурный анализ трещиноватости и пространственного положения активных тектонических разломов в скальном массиве вулканогенных пород Петропавловского рудного поля.

**Методы исследований.** Предмет исследований диссертационной работы находится на стыке ряда отраслей знаний, среди которых можно выделить гидрогеологию, геоэкологию, геомеханику, геологию, тектонофизику. Теоретической базой для исследований послужили основные положения научного направления «Гидрогеомеханика скальных массивов». В целом методика исследований направлена на изучение природного процесса тектонической активизации массивов горных пород в условиях геодинамического напряжённого состояния верхней части земной коры. Учитывается, что при техногенном воздействии на геологическую среду процессы тектонической активизации развиваются и проявляются более интенсивно. В качестве основного признака тектонической активизации рассматривается формирование, в плане и в разрезе, гидрогеодинамической структуры массива скальных горных пород. При проведении полевых работ в качестве ведущих способов изучения состояния породного массива использовались методы гидрогеологии, геофизики, структурной и инженерной геологии.

**Научная новизна** работы определяется следующими основными результатами:

1. Уточнена методика изучения пространственного положения осей главных нормальных напряжений на основании комплексного анализа трещиноватости, ориентировки линеаментов рельефа и тектонических структур.

2. Показана ведущая роль активных тектонических разломов в формировании плановой фильтрационной структуры породного массива. Описаны особенности проявления гидродинамической структуры массива при ведении горных работ.

3. Выявлено, что при определённой ориентировке в поле современных напряжений, тектонические разломы формируют водоупорные границы, разделяющих единый водоносный комплекс на обособленные сегменты.

4. Дополнена методика поиска водоносных зон, основанная на выявлении тектонических структур, активных в современном поле напряжений. Рассмотрены особенности участков пересечения активных разломов.

5. Впервые достоверно выявлена вертикальная гидродинамическая стратификация относительно однородного скального массива как проявление тектонического расслоения массива горных пород в условиях геодинамического напряжённого состояния.

6. На основании комплексного анализа гидродинамических и гидрогеохимических признаков установлено, что основной дренирующий водоносный горизонт рассматриваемой территории располагается на глубине 250 – 300 м от поверхности земли.

В целом результаты исследований показывают важность изучения современного напряжённого состояния верхней части земной коры как одного из ведущих факторов природной геологической среды, оказывающего значительное влияние на формирование структуры и свойств природно-техногенных систем.

## **Основные защищаемые положения**

1. Современная структура массива горных пород Петропавловского рудного поля формируется в условиях тектонического напряжённого состояния. Анализ диаграмм трещиноватости, тектонических нарушений и линеаментов рельефа показывает, что главное максимальное напряжение действует в субширотном направлении. Ориентировка оси главного максимального напряжения имеет два наиболее выраженных направления воздействия. Эти направления ориентированы по азимутам 260 и 285°.

2. Современное поле тектонических напряжений формирует сеть активных тектонических нарушений с выраженными гидрогеологическими свойствами. Высокими фильтрационными свойствами отличаются сбросы и раздвиги, ориентированные в субширотном направлении. Активизация палеозойских разломов, которая сопровождается возникновением пластических деформаций, приводит к формированию водоупорных зон. Применение гидрогеомеханического и структурно–геологического анализа позволяет выделить активные, водоносные или водоупорные, тектонических структуры и оценить их потенциальную опасность или полезность в зависимости от обстоятельств хозяйственного использования.

3. Изменение напряженного состояния массива с глубиной приводит к формированию гидрогеодинамической стратификации скального массива. В пределах однородного массива формируются выраженные в плане и разрезе водоносные горизонты, разделенные относительно водоупорными горизонтами и слоями. Наличие обособленных водоносных горизонтов в массиве вулканогенных пород Петропавловского рудного поля фиксируется по разнице фильтрационных свойств, существенному перепаду напоров и различию химического состава подземных вод.

**Практическая значимость.** Результаты проведённых исследований позволяют существенно повысить эффективность гидрогеологических и геоэкологических работ, направленных на выбор участков, благоприятных для сооружения водозаборов, дренажей, наблюдательных скважин. Методические приёмы, направленные на выявление активных тектонических структур, могут применяться для выявления подвижных участков, неблагоприятных для прокладки коммуникаций и возведения сооружений.

Выявление основных закономерностей гидродинамической структуры рудного поля, включая гидрогеодинамическую стратификацию скального массива на глубину более 500 м, а также выделение основного дренирующего водоносного горизонта на глубине 250 – 300 м, позволяет целенаправленно планировать и решать задачи осушения и мониторинга объектов месторождения.

Методические положения и практические приёмы применялась на месторождении «Юбилейное» в 2006–2008 гг. при поисковых работах на подземные воды и гидрогеологических исследованиях на действующих и проектируемых объектах рудника. Основные принципы и подходы гидрогеомеханического анализа природно-техногенной ситуации

использовались при решении геоэкологических и гидрогеологических задач на ряде объектов г. Екатеринбурга и Свердловской области.

**Апробация работы.** Основные положения и выводы по результатам исследований докладывались на научно–практической конференции «Горнопромышленная декада» (Екатеринбург, 2005, 2007, 2008 гг.), на научно–практической конференции «Проблемы инженерных изысканий для высотного строительства в Уральском регионе» (Екатеринбург, 2007 г.), на XII Международном научном симпозиуме имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2008 г.). По теме диссертации опубликована одна статья в журнале, рекомендованном ВАК. Материалы использованы в нескольких научно–производственных отчетах по месторождению «Юбилейное» (2006–2008 гг.), а также объектам, расположенным в г. Екатеринбурге и Свердловской области.

**Структура и объём диссертации.** Работа состоит из введения, шести глав и заключения. Объём текста – 129 стр., количество рисунков – 32, таблиц – 16, библиографический список содержит 110 наименований.

Автор искренне признателен научному руководителю профессору С.Н. Тагильцеву за содержательные консультации и советы при выполнении и оформлении диссертационной работы. Автор выражает глубокую благодарность коллективу ООО «Уралгеопроект» за предоставленный фактический материал и плодотворное сотрудничество; специалистам, геологам и маркшейдерам рудника «Хайбуллинский», гидрогеологам и буровикам ОАО «Зеленогорская экспедиция» за помощь и понимание при выполнении полевых работ.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### 1. Основные представления гидрогеомеханики скальных массивов

В первой главе рассматриваются современные представления о напряженном состоянии земной коры. Приводятся взгляды различных авторов на проблему напряженно–деформированного состояния породных массивов, ориентировку главных напряжений в приповерхностной части скальных массивов, в зоне взаимодействия с инженерными сооружениями и объектами горных предприятий. В качестве основной теоретической базы показаны основные представления гидрогеомеханики скальных массивов. Рассмотрены механизмы образования трещин и тектонических разломов, причины и структура геодинамической этажности земной коры. Приведены данные об изменении трещиноватости скальных массивов с глубиной.

В настоящее время можно считать общепризнанным, что скальные массивы в большинстве регионов находятся в геодинамическом (тектоническом) напряженно–деформированном состоянии (НДС) (И.М. Петухов; И.М. Батугина, 1996; С.Н. Тагильцев, 2003). Отличительная особенность этого состояния заключается в том, что в приповерхностной части литосферы главное максимальное сжимающее напряжение ( $\sigma_1$ ) ориентировано горизонтально, а минимальное напряжение ( $\sigma_3$ ) в пределах определенной

приповерхностной зоны имеет вертикальную ориентировку (С.И. Шерман; Ю.И. Днепровский, 1989; С.Н. Тагильцев, 2003; А.Б. Макаров, 2006).

Результаты прямых измерений напряженного состояния на Урале проводились сотрудниками ИГД УрО РАН. Данные, приведенные в монографиях Н.П. Влоха (1994) и А.Д. Сашурина (1999), свидетельствуют о том, что массивы горных пород находятся под воздействием значительных напряжений. Средние значения горизонтальных напряжений составляют 10–30 МПа, а иногда, особенно с глубиной, превышают 50 МПа. Практически не зафиксированы напряжения, которые соответствуют геостатическим закономерностям распределения напряжений. Известны случаи проявления напряженного состояния, начиная с глубины 50–100 м (А.Б. Макаров, 2006).

Трещиноватость скальных массивов является результатом воздействия напряжений. Массовые трещины представляют собой структуры предразрушения, образование которых происходит в результате дилатансионного разуплотнения пород при протекании процессов хрупкой деформации. Тектонические разломы являются структурами разрушения скального массива и могут рассматриваться в качестве укрупненной сколовой трещины. Мощность тектонического шва разлома и степень проработки пород зависят от соотношения хрупкой и пластичной деформации, имевших место при образовании и активизации разлома.

Направление тектонических движений определяется ориентировкой осей главных напряжений. Положение швов разломов относительно горизонтальной плоскости (субвертикальное или наклонное) предопределяется взаимной ролью главных напряжений. Формирование тектонических структур определенной кинематики связано с геодинамической этажностью земной коры.

Применительно к вопросам геоэкологии, наибольший интерес представляет верхний геодинамический этаж и приповерхностная зона хрупкой деформации. Мощность зоны хрупкой деформации, в зависимости от геомеханических свойств массива, составляет от 300 до 600 м. Ниже этой глубины в массивах горных пород начинают проявляться элементы пластической деформации. Для зоны хрупкой деформации характерно образование массовых трещин предразрушения. Эти трещины при определённых условиях формируют проницаемую взаимосвязанную сеть. Взаимосвязанная сеть трещин является основой для существования водоносных горизонтов в скальных массивах.

В массивах, залегающих вблизи поверхности, происходит хрупкая деформация горных пород, которая сопровождается образованием массовых трещин. Изменение напряженного состояния с глубиной приводит к изменению условий образования трещин, их характера и количества. Таким образом, геодинамическое напряженное состояние предопределяет фильтрационную структуру массивов скальных горных пород.

## **2. Фильтрационная структура скальных массивов**

Рассматриваются особенности образования проницаемого пространства и формирования фильтрационной структуры скальных массивов. Описаны условия существования проницаемой среды трещинных коллекторов, указаны

основные параметры проницаемого трещинного пространства. В рамках гидрогеомеханики скальных массивов приводятся данные о закономерном изменении фильтрационных свойств с глубиной. Рассмотрено влияние активных тектонических нарушений на проницаемость массивов скальных горных пород и изменение фильтрационных свойств в зоне тектонического шва в зависимости от возраста, амплитуды смещения и пространственной ориентировки разлома.

Фильтрационные свойства скальных массивов имеют сложную пространственную структуру, которая тесно связана с механизмом образования открытых проницаемых трещин. Особенности формирования фильтрационной структуры массивов связаны также с условиями движения подземных вод в пространстве трещинных коллекторов.

Отдельная трещина не может существовать в раскрытом состоянии длительное время. Геостатическое и геодинамическое давление, осаждение минеральных солей, выпадение глинистых частиц являются основными факторами, которые способствуют закрытию трещин. Высокие фильтрационные свойства скальных пород сохраняются за счет образования новых трещин или постоянного подновления существующих в результате современного тектонического воздействия.

Хотя фильтрационные свойства скальных массивов связаны с открытыми трещинами, не следует предполагать наличие прямой связи между количеством открытых трещин и свойствами водоносных зон. Нередко можно наблюдать обратную зависимость между интенсивностью трещиноватости и фильтрационными свойствами пород. Главная причина этого состоит в том, что водопроницаемость трещины определяется, прежде всего, степенью ее раскрытия. Водопроницаемость зависит от кубической степени раскрытия. Влияние этой закономерности легко выяснить с помощью простого примера. Если сравнивать одну трещину и десять трещин, суммарное раскрытие которых равно раскрытию одной, то одиночная трещина обладает водопроницаемостью, в 100 раз превышающей суммарную водопроницаемость десяти трещин.

Взаимосвязанность отдельных трещин имеет важное значение для распределения гидродинамических свойств скальных массивов. Водопроницаемость целого горизонта может определяться единичной устойчивой траекторией фильтрации воды в сложном трехмерном лабиринте трещин. Закрытие какой-либо одной проводящей трещины может изменить эту траекторию. При этом на первый план могут выходить другие траектории движения, ранее занимавшие подчиненное положение. Таким образом, незначительные изменения в структуре трещинного пространства могут привести к существенным изменениям фильтрационных свойств скальных пород. В целом водопроницаемость такой сложной системы зависит от величины раскрытия трещин и скорости фильтрации воды в точках пережима.

Фильтрационная структура скальных массивов зависит от трех основных параметров трещинного пространства: количества открытых трещин, величины их раскрытия и степени взаимосвязи. Тектонические разломы оказывают существенное влияние на проницаемость скальных массивов. Они могут

проявляться в виде линейных зон различной протяженности и мощности, обладающих как повышенной, так и пониженной проницаемостью относительно средних показателей массива. Проявление разломами водоупорных или водоносных свойств зависит от их возраста, пространственной ориентировки и степени активизации в поле современных напряжений.

Высокая проницаемость зоны тектонического разлома является важнейшим показателем его современной активизации. В этом плане методы гидрогеологических исследований проницаемости скальных массивов являются наиболее значимыми. Помимо фильтрационных аномалий, пространственное положение тектонических зон можно определить и по увеличению миграции других флюидов, например, по увеличению объемной активности радона и других радиогенных газов.

В последнее время появился целый ряд исследований, связанных с изучением процессов выделения радиогенных газов (Е.Н. Рыбаков; А.В. Климшин, 2008; И.А. Козлова, 2008). Важной особенностью метода является тот факт, что радон имеет короткий период полураспада. Это позволяет говорить о современной активности тектонических нарушений в масштабе не геологического, а реального времени.

### **3. Общие сведения о Петропавловском рудном поле**

Общие сведения о месторождении включают описание физико-географических, геологических, инженерно-геологических, гидрогеологических и геоэкологических условий месторождения. Медно-цинковое колчеданное месторождение «Юбилейное» открыто в 1966 году Юго-Восточной ГРЭ ПГО «Башкиргеология». Месторождение находится на территории Хайбуллинского района Республики Башкортостан, районный центр – г. Акъяр.

Месторождение располагается в центральной части Петропавловского рудного поля и имеет сложное геологическое строение. Верхняя часть разреза до глубины 40–90 м сложена рыхлыми осадочными отложениями юрского возраста. Под осадочной толщей залегают вулканогенные скальные породы палеозойского возраста. Рыхлые отложения представлены глинами, песками и галечниками со значительным включением глинистой фракции. Скальные породы палеозоя представлены лавами, лаво-брекчиями и туфами кислого, среднего и основного состава, а также породами, подвергшимися гидротермальному изменению. По материалам инженерно-геологических изысканий под шахтные стволы (О.М. Гуман, 2008), скальный массив в пределах месторождения был охарактеризован как однородный по прочностным и деформационным показателям.

### **4. Определение ориентировки осей главных напряжений**

Описаны основные методы определения ориентировки осей главных напряжений. Приведены результаты геомеханического и геолого-структурного анализа, определена ориентировка осей главных напряжений для территории Петропавловского рудного поля.

Поисковые работы на подземные воды на территории Петропавловского рудного поля проводились в 2006 г. Изначально было ясно, что осадочная толща юрского возраста малоприспособлена для устройства питьевого водозабора в виду низких фильтрационных свойств рыхлых отложений и низкого качества подземных вод. Поэтому основные поисковые работы велись в восточной части Петропавловского рудного поля на участке выхода на поверхность скальных пород палеозойского возраста. Основной объем гидрогеологических исследований выполнялся в долине р. Таналык и в примыкающем к ней с запада овраге «Скальный». Овраг «Скальный» представляет собой выраженную в рельефе тектоническую структуру и местами достигает глубины 8–10 м. Обнажения горных пород в стенках оврага несут многочисленные следы тектонических смещений в виде борозд и зеркал скольжения.

Методика поисковых работ на территории распространения скальных горных пород основана на выявлении проницаемых водоносных зон, связанных с участками повышенной трещиноватости тектонических разломов. Наиболее перспективными в гидрогеологическом отношении являются тектонические структуры, активные в современном поле напряжений. Для выявления активных тектонических нарушений необходимо знать ориентировку осей главных напряжений.

Геолого–структурные методы определения ориентировки осей главных напряжений базируются на изучении деформационных структур: трещин и разломов. В ходе исследований применялись два метода определения направления действия главного максимального напряжения, основанные на построении круговых диаграмм трещиноватости и построении роз-диаграмм ориентировки линейных элементов рельефа. Оба метода учитывают тот факт, что главное максимальное напряжение может действовать по двум и более направлениям, отстоящим друг от друга на угол 20–30°.

Построение круговых диаграмм трещиноватости проводилось на основании полевых данных, включавших 1022 замера пространственной ориентировки трещин на пяти обнажениях горных пород в пределах оврага «Скальный» и более 100 замеров в долине р. Бузавлык. При построении круговых диаграмм наклонные трещины (угол падения < 70°) следует наносить в азимутах падения, а субвертикальные (угол падения > 70°) – в азимутах простирания. В этом случае трещины отрыва, скола и скольжения образуют на круговой диаграмме прямолинейный пояс систем трещин, ориентировка которого совпадает с направлением современного силового воздействия на породный массив.

Результаты обработки круговых диаграмм трещиноватости показали, что главное максимальное напряжение ( $\sigma_1$ ) действует по двум основным направлениям, имеющим азимуты 260 и 285°. Нередко на диаграммах трещиноватости проявляется третье направление воздействия главного максимального напряжения с азимутом 240°, но оно, как правило, выражено более слабо.

Образование массовых трещин предразрушения может происходить при допредельном и предельном напряженном состоянии массива. В отличие от

трещин, разломы являются структурами разрушения породного массива. Как и закономерности распределения трещин в массиве, ориентировка разломов также позволяет определить характер тектонического воздействия. Анализируя пространственное положение разрывных структур, можно определить направления воздействия основных тектонических сил.

Для определения ориентировки осей главных напряжений необходимо использовать разломы, которые по совокупности признаков можно рассматривать как образовавшиеся в современную геологическую эпоху или имеющие признаки современной активизации. Важнейшим показателем активизации древних тектонических структур и активности современных разломов является наличие повышенной проницаемости скальных пород для подземных вод и разнообразных флюидов.

Роза-диаграмма ориентировки линейных элементов рельефа восточной части Петропавловского рудного поля была построена с учетом данных маршрутного обследования. В ходе работ на поисковом участке был выделен ряд тектонических нарушений, имеющих признаки современной активизации. При помощи космического снимка были определены азимуты простирания и относительная длина каждого линейного элемента. Методика построения роз-диаграмм заключается в суммировании относительных длин линейных элементов, попавших на диаграмме в один диапазон азимутов простирания.

В соответствии с представлениями гидрогеомеханики скальных массивов, тектонические разломы, определяемые как раздвиги и сбросы, имеют простирание, параллельное оси главного максимального напряжения. Простирание шва надвигов, наоборот, перпендикулярно направлению главного максимального напряжения. Главное максимальное напряжение на территории Петропавловского рудного поля действует по двум направлениям. Соответственно, на розе-диаграмме раздвиги образуют два центральных пика с азимутами простирания 260 и 280°. Два пика, соответствующие простиранию надвигов, имеют азимуты 355 и 190°. Данные построения роз-диаграмм хорошо согласуются с результатами обработки трещиноватости. Расхождение в определении ориентировки осей главных напряжений не превышает 5°.

Результаты геомеханического и геолого-структурного анализа позволяют сделать следующие выводы:

1. Главное максимальное напряжение ( $\sigma_1$ ) в скальном массиве Петропавловского рудного поля имеет субширотную ориентировку и два основных направления воздействия. Данные направления ориентированы по азимутам 260 и 285°. Вариации азимутов действия главных напряжений не превышают 5°.

2. Круговые диаграммы трещиноватости показывают возможное наличие третьего направления воздействия главного максимального напряжения с азимутом 240°. При анализе роз-диаграмм линияментов рельефа данное направление не проявляется.

##### **5. Определение ориентировки активных тектонических разломов**

Приведены данные о пространственном положении и влиянии активных тектонических разломов на изменение фильтрационной структуры скального

вулканогенного массива Петропавловского рудного поля. Описан ряд водоносных и водоупорных тектонических нарушений, показаны особенности их пространственной ориентировки в поле современных напряжений.

#### ***Водоносные тектонические разломы Петропавловского рудного поля***

При помощи геолого–структурного анализа можно решать как обратные, так и прямые задачи. Построение роз–диаграмм производится на основании анализа пространственного расположения активных тектонических структур, которые выделяются на местности по совокупности геологических, геоморфологических и гидрогеологических данных. Готовые розы–диаграммы служат для определения тектонической активности той или иной линейной структуры, выделенной на исследуемой территории.

В 2006 г. в процессе работ на поисковом участке «Скальный» была выявлена водоносная зона, связанная с линейным тектоническим нарушением. Водоносная зона была выявлена по результатам сейсморазведки и фиксировалась в естественных скальных обнажениях в виде субвертикальной зоны дробления. Результаты бурения подтвердили высокую трещиноватость и водобильность тектонической зоны. Наблюдения за уровнем подземных вод показали, что в естественных условиях поток подземных вод направлен вдоль проницаемой тектонической зоны. Тектонический разлом имеет азимут простирания  $260^\circ$ , протяженность около 50 м, ширину 2–3 м. На основании геолого–структурного анализа указанный разлом был определен как раздвиг, образовавшийся под действием главного максимального напряжения по направлению  $260^\circ$ .

В зоне раздвига была пробурена разведочная скважина 10р. В скважине была выполнена кустовая откачка длительностью 11 суток. Производительность откачки составила  $120 \text{ м}^3/\text{сут}$ , расчетный коэффициент водопроницаемости –  $105 \text{ м}^2/\text{сут}$ , что представляется весьма высоким значением для палеозойских вулканогенных пород. Результаты наблюдений за снижением уровня в наблюдательных скважинах показали, что в процессе опыта депрессионная воронка имела вытянутую форму и развивалась вдоль узкой локальной проницаемой зоны с азимутом простирания  $260^\circ$ .

Анализ роз–диаграмм позволяет определить ориентировку потенциально водоносных тектонических структур. На территории Петропавловского рудного поля в роли активных потенциально водоносных разломов выступают раздвиги с азимутами простирания  $260$  и  $280^\circ$ , надвиги с азимутами простирания  $355$  и  $190^\circ$  и правые хрупкие сдвиги с азимутами простирания  $230^\circ$ . Левые хрупко–пластичные сдвиги с простиранием  $335^\circ$  и правые хрупко–пластичные сдвиги с простиранием  $210^\circ$  также являются активными тектоническими структурами, но могут, в зависимости от возраста, состава пород и амплитуды смещения, проявлять как водоносные, так и водоупорные свойства. Наиболее перспективными участками для сооружения водозаборных скважин следует признать узлы пересечения и сочленения двух активных водоносных тектонических структур различной кинематики.

В 2007 г. в процессе инженерно–геологических работ в скальном массиве месторождения «Юбилейное» был выявлен мощный тектонический разлом.

Разлом был вскрыт двумя контрольно–стволовыми скважинами 1С и 2К на глубине 1168–1330 и 900–1000 м. Установлено, что горные породы в зоне тектонического шва обладают высокой проницаемостью. Для указанных интервалов глубин по скважинам 1С и 2К расчетные значения прогнозных водопритоков в проектируемые шахтные стволы составили 700 м<sup>3</sup>/ч. Результаты бурения позволили определить пространственное положение водоносного разлома. На карте гидроизопьез разлом фиксируется в виде аномалий уровней подземных вод в районе наблюдательных скважин 2661, 2676 и 2539 (рис. 1).

Высокие фильтрационные свойства тектонического разлома свидетельствуют о высокой степени его современной активизации. Разлом представляет собой сброс с азимутом простирания 250–260°, мощностью до 100 м и протяженностью более 1000 м. С позиций хозяйственного использования, тектонический сброс может быть полезен в качестве источника водоснабжения рудника. Высокие фильтрационные свойства в зоне тектонического шва разлома сохраняются даже на глубине 1000–1300 м. Негативные качества сбросового нарушения связаны с тем, что активный водоносный разлом представляет существенную опасность для объектов подземного рудника с позиций геодинамического воздействия и катастрофических водопритоков.

#### ***Водоупорные тектонические разломы Петропавловского рудного поля***

Помимо задач водоснабжения, гидрогеологические работы, проводившиеся на месторождении «Юбилейное» в 2006 г., включали в себя задачу оценки и прогноза притока подземных вод в существующий карьер. К этому времени глубина карьера составляла около 100 м, а площадь по поверхности земли достигла 0,44 км<sup>2</sup>.

В процессе работ были выполнены измерения водопритоков в карьер «Юбилейный». Суммарный водоприток в карьер в июле 2006 г. составлял около 40 м<sup>3</sup>/ч. При этом 30 м<sup>3</sup>/ч поступало из рыхлых осадочных отложений юрского возраста, и только 10 м<sup>3</sup>/ч поступало со дна карьера из скальных пород палеозойского возраста. Поступление подземных вод из скальных пород палеозоя было значительно ниже ожидаемых значений.

На основании данных наблюдений за уровнем подземных вод была построена карта гидроизопьез палеозойского водоносного комплекса. Анализ карты показал, что развитие депрессии уровней в скальном массиве происходило вдоль узкой проницаемой зоны север–северо–западного простирания, ограниченной с двух сторон непроницаемыми тектоническими нарушениями. Было отмечено, что уровень подземных вод в наблюдательной скважине 264, располагающейся в непосредственной близости от карьера, превышал отметку дна на 70 м (см. рис. 1). В результате был сделан важный вывод о том, что два тектонических разлома, обладающих водоупорными свойствами, разделяют единый палеозойский водоносный комплекс на три отдельных сегмента: западный, центральный и восточный. Низкий расход подземных вод, поступавших в карьер из палеозойского водоносного комплекса в июле 2006 г., был связан с тем, что водоприток происходил только из центрального сегмента, имеющего ограниченную площадь распространения.

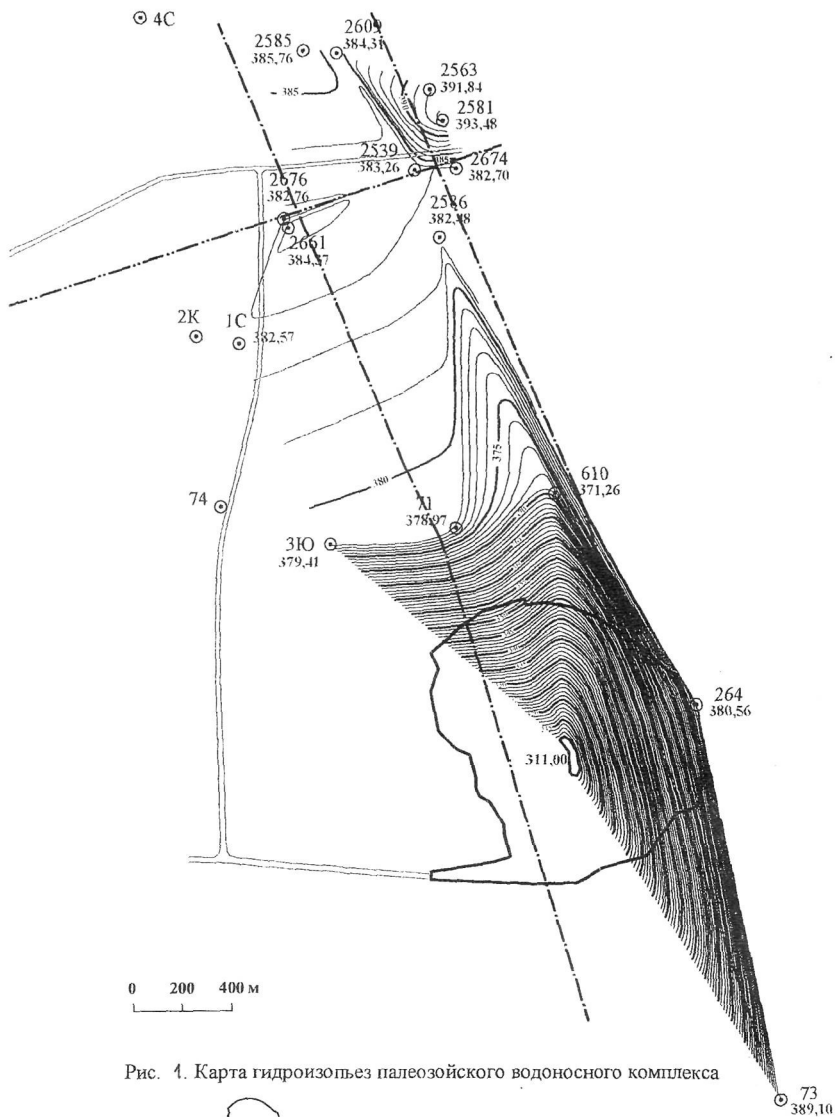







Рис. 4. Карта гидроизопьез палеозойского водоносного комплекса

-  - Контур карьера Юбилейный
-  31Ю 379.41 - Наблюдательная скважина, её номер и абсолютная отметка уровня подземных вод на июль 2007 г
-  - Гидроизопьезы (проведены через 1 м)
-  - Водоупорные тектонические разломы
-  - Водоносный тектонический разлом

В августе 2006 г., в период летней межени, водоприток в карьер Юбилейный возрос более чем в 2 раза и к концу августа составил более 100 м<sup>3</sup>/ч. В этот период в результате разноса бортов карьера был вскрыт западный водоупорный разлом. Это послужило причиной дополнительного поступления подземных вод с западного сегмента палеозойского водоносного комплекса. Частичное вскрытие восточного сегмента произошло весной 2008 г. Данные о работе водоподъемного оборудования показывают, что с декабря 2007 г. по февраль 2008 г., в период зимней межени, водоприток увеличился на 15–20 м<sup>3</sup>/ч. Существенное увеличение притока подземных вод с восточного борта произошло в марте 2008 г. В середине марта при частичном вскрытии восточного сегмента общий водоприток в карьер возрос на 40 м<sup>3</sup>/ч, достигнув 135 м<sup>3</sup>/ч.

Анализ ориентировки водоупорных разломов, расположенных в бортах карьера Юбилейный, показывает, что указанные тектонические нарушения имеют азимут простирания 320–330°. В соответствии с геологическими данными, такая ориентировка свойственна древним палеозойским разломам, связанным с периодом рудообразования (Татарко, 1996). В поле современных тектонических напряжений данные разломы работают как левые хрупко-пластичные сдвиги. Древний возраст тектонических нарушений, высокая проработка пород в зоне шва с образованием глинистой фракции и особая ориентировка в поле современных напряжений предопределили водоупорные свойства этих разломов.

В результате изучения тектонических нарушений, выявленных на территории Петропавловского рудного поля, были сделаны следующие выводы:

1. Метод геолого-структурного анализа, основанный на построении роз-диаграмм и анализе пространственной ориентировки тектонических структур, позволяет определить ориентировку потенциально водоносных тектонических нарушений, активных в поле современных тектонических напряжений.

2. На территории Петропавловского рудного поля в роли активных потенциально водоносных разломов выступают раздвиги и сбросы с азимутами простирания 260 и 280°, надвиги с азимутами простирания 355 и 190° и правые хрупкие сдвиги с азимутами простирания 230°. Левые хрупко-пластичные сдвиги с простиранием 335° и правые хрупко-пластичные сдвиги с простиранием 210° также являются активными тектоническими структурами, но могут, в зависимости от возраста, состава пород и амплитуды смещения, проявлять как водоносные, так и водоупорные свойства.

3. Выраженными водоносными свойствами обладают крупные сбросы и раздвиги с азимутами простирания 250–260°. Тектонические сбросы характеризуются высокими фильтрационными свойствами горных пород в зоне тектонического шва до глубины 1000 м и более. В зависимости от направления хозяйственной деятельности, данные разломы могут быть полезны в качестве источников водоснабжения рудника или представлять существенную опасность для открытых и подземных горных выработок в связи с возможными геодинамическими явлениями и катастрофическими водопритоками.

4. Тектонические нарушения, имеющие определенную ориентировку в поле современных напряжений, могут выступать в роли непроницаемых линейных границ, разделяющих скальный массив на изолированные в гидрогеологическом отношении сегменты. Наличие водоупорных свойств наиболее вероятно для древних тектонических нарушений, имеющих в поле современных напряжений ориентировку, благоприятную для проявления пластических деформаций. На территории месторождения «Юбилейное» водоупорными свойствами обладают левые хрупко–пластичные сдвиги с азимутами простирания 320–330°.

#### **6. Гидрогеодинамическая стратификация скального массива Петропавловского рудного поля**

Приведены данные поинтервального бурения и опробования контрольно–стволовых скважин. В результате исследований впервые выявлена и описана гидрогеологическая стратификация скального массива, существование которой обусловлено напряженно–деформированным состоянием горных пород.

В 2007 г. в процессе изысканий под строительство подземного рудника на месторождении «Юбилейное» было пробурено четыре основные инженерно–геологические скважины и несколько вспомогательных. Основные скважины были пробурены в точках заложения проектируемых шахтных стволов. Глубина скважин составила 650, 1250 и две по 1350 м (О.М. Гуман, 2008). Методика исследований опиралась на поинтервальное бурение и опробование скважин. Полевое опробование включало в себя комплекс геофизических исследований в стволе скважины, гидрогеологические работы и расходомерию. Длина интервалов опробования изменялась от 50 до 100–150 м. Поинтервальное опробование проводилось до глубины 400–650 м, ниже работы выполнялись в открытом стволе скважины на всю длину заложения.

Глубина залегания кровли скальных вулканогенных пород палеозойского водоносного комплекса по четырем скважинам варьирует в пределах 80–100 м. В кровле палеозойского водоносного комплекса на глубине 100–130 м наблюдается повышенная проницаемость скальных горных пород (рис. 2). Ниже, в интервале глубин 130–300 м, происходит постепенное снижение проницаемости пород вулканогенной толщи. На глубине около 300 м фильтрационные свойства снижаются практически до нуля. Мощность непроницаемого слоя по разным скважинам различна и в среднем составляет 100 м. Ниже по разрезу на глубине около 400 м происходит возрастание фильтрационных свойств. Положение регионального водоупорного горизонта фиксируется на глубине 530 м.

Химический состав подземных вод в разрезе палеозойского водоносного комплекса претерпевает значительные изменения. Подземные воды верхней части палеозойского водоносного комплекса, до глубины 200 м, по своему химическому составу близки к подземным водам юрского водоносного горизонта. Начиная с глубины 200 м, химический состав подземных вод палеозойского водоносного комплекса претерпевает существенные изменения. Интервал глубин 200–300 м отличается особенной гидрохимической обстановкой, здесь наблюдаются устойчивые значения по содержанию

большинства макрокомпонентов. Ниже глубины 300 м химический состав подземных вод продолжает изменяться, но эти изменения носят более плавный характер. На глубине 400–500 м и более химический состав подземных вод близок к значениям, являющимся средними относительно химического состава верхней части палеозойского водоносного комплекса и аномального интервала 200–300 м. Значительные изменения химического состава подземных вод в пределах интервалов глубин, не превышающих 50–100 м, свидетельствуют о существенных изменениях гидродинамической обстановки в пределах скального массива.

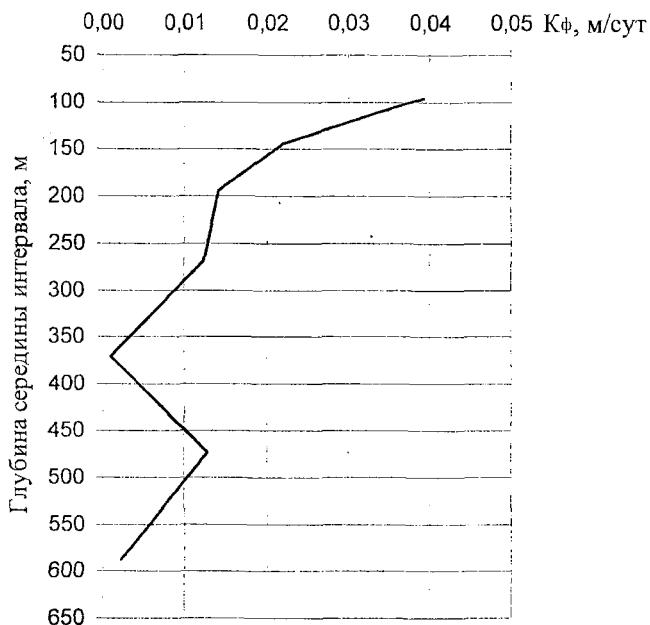


Рис. 2. Изменение фильтрационных свойств скальных пород в разрезе скв. 3Ю.

Анализ положения статических уровней показал, что подземные воды в разных интервалах опробования обладают разным напором. В некоторых скважинах перепад напоров между соседними интервалами составляет 3–5 м. Существенный перепад напоров свидетельствует о том, что разные интервалы опробования отражают гидродинамические условия различных водоносных горизонтов, между которыми отсутствует прямая гидравлическая связь. Это означает, что в разрезе палеозойского водоносного комплекса располагаются отдельные водоносные горизонты, разделенные относительно водоупорными горизонтами и слоями.

Распределение напоров в разрезе четырех инженерно-геологических скважин имеет общие закономерности. В кровле палеозойского водоносного

комплекса наблюдаются напоры, которые близки к напору в юрском водоносном горизонте. В интервале глубин от 100 до 250 м напоры постепенно снижаются. Минимальные напоры подземных вод зафиксированы для интервала глубин 200–300 м. Ниже глубины 300 м значения напоров по интервалам опробования начинают возрастать (рис. 3).

В результате поинтервального опробования была выявлена гидрогеодинамическая стратификация скального массива вулканогенных пород месторождения «Юбилейное». В пределах палеозойского водоносного комплекса, на основании имеющейся классификации (С.Н. Тагильцев, 2003), выделяется несколько водоносных и водоупорных горизонтов: водоносный горизонт разгрузки (глубина 85–110 м), водоносный горизонт трещин отрыва (130–150 м), водоносный горизонт трещин скола, имеющий два водоносных слоя – верхний (170–215 м) и нижний (в среднем 240–310 м), водоупорный горизонт зоны нейтральных вертикальных напряжений (в среднем 310–400 м) и водоносный горизонт зоны сжимающих вертикальных напряжений (420–480 м).



Рис. 3. Изменение напоров подземных вод по интервалам опробования палеозойского водоносного комплекса (скв. 3Ю)

Положение водоносных горизонтов не зависит от генезиса и петрографического состава пород. Проявление в массиве выраженных водоносных и относительно водоупорных горизонтов связано исключительно с изменением параметров проницаемого трещинного пространства. В свою очередь, формирование сети взаимосвязанных проницаемых трещин зависит от

процессов реализации деформаций в скальном массиве в условиях действия горизонтальных тектонических напряжений.

При опробовании всех четырех инженерно-геологических скважин минимальные значения напора были получены для нижнего водоносного слоя водоупорного горизонта трещин скола (240–310 м). Подземные воды данного горизонта имеют целый ряд резких отличий по химическому составу. Нижний водоносный слой водоносного горизонта трещин скола является основным дренирующим горизонтом палеозойского водоносного комплекса.

Поинтервальное опробование инженерно-геологических скважин позволило получить необходимые сведения о строении массива вулканогенных пород и сделать ряд выводов:

1. Результаты поинтервального гидрогеологического опробования позволили выявить неоднородность в распределении фильтрационных свойств, напоров и химического состава подземных вод в разрезе палеозойского водоносного комплекса.

2. Существенный перепад напоров и различие химического состава подземных вод свидетельствует о расщеплении единого палеозойского водоносного комплекса на ряд водоносных горизонтов, разделенных водоупорными горизонтами и слоями. Водоносные и водоупорные горизонты располагаются субгоризонтально, хорошо выражены в разрезе и имеют широкое пространственное распространение.

3. Инженерно-геологические исследования геологического разреза показали, что, несмотря на наличие разных по составу горных пород, скальный массив в целом можно рассматривать как однородный. Гидрогеодинамическая стратификация палеозойского водоносного комплекса не связана с петрографическим составом пород.

4. Результаты поинтервального гидрогеологического опробования хорошо согласуются с основными положениями гидрогеомеханики скальных массивов. Чередование водоносных и относительно водоупорных горизонтов связано с изменением параметров проницаемого трещинного пространства. Гидрогеодинамическая стратификация образуется в связи с закономерным изменением напряженно-деформированного состояния скального массива с глубиной.

### **Заключение**

Скальный массив вулканогенных пород Петропавловского рудного поля находится в напряженно-деформированном состоянии. Анализ диаграмм трещиноватости, тектонических нарушений и линейamentos рельефа показывает, что главное максимальное напряжение действует в субширотном направлении. Ориентировка оси главного максимального напряжения имеет два наиболее выраженных направления воздействия с азимутами 260 и 285°. Силовое воздействие на массив приводит к активизации тектонических нарушений, имеющих определенную ориентировку в современном поле действующих напряжений. Применение гидрогеомеханического и структурно-геологического анализа позволяет выделить активные, водоносные или водоупорные тектонические структуры и оценить их потенциальную опасность

или полезность, в зависимости от обстоятельств хозяйственного использования. Изменение напряженного состояния массива с глубиной приводит к формированию гидрогеодинамической стратификации скального массива. В пределах однородного массива формируются выраженные в плане и разрезе водоносные горизонты, разделенные относительно водоупорными горизонтами и слоями.

Формирование гидрогеодинамической структуры скального массива Петропавловского рудного поля происходит в условиях напряженно-деформированного состояния за счет современного силового тектонического воздействия на массив. Изучение геодинамического состояния массива как важнейшего параметра геологической среды необходимо для рационального планирования и ведения разработки месторождения. При внедрении грамотных технологических схем можно избежать негативных последствий геодинамических явлений в зонах тектонических разломов и извлечь выгоды при сооружении и совмещении водозаборных и дренажных сооружений.

#### **Работы, опубликованные по теме диссертации**

**Статья, опубликованная в ведущем рецензируемом научном журнале, определенном Высшей аттестационной комиссией:**

1. Лукьянов А.Е. Гидрогеомеханический анализ ориентировки водоносных тектонических структур в скальных породах / А.Е. Лукьянов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2008. – № 8. – С. 184–186.

#### **Статьи, опубликованные в материалах конференций:**

1. Лукьянов А.Е. Гидрогеологические и геомеханические закономерности Петропавловского рудного поля / С.Н. Тагильцев, А.Е. Лукьянов // Проблемы инженерных изысканий для высотного строительства в Уральском регионе: Материалы научно-практической конференции (14 июня 2007). – Екатеринбург: ЗАО «УралТИСИЗ», 2007. – С. 38–41.

2. Лукьянов А.Е. Гидрогеомеханические особенности Петропавловского рудного поля / С.Н. Тагильцев, А.Е. Лукьянов // Материалы Уральской горнопромышленной декады (9–18 апреля). – Екатеринбург: УГГУ, 2007. – С. 43–44.

3. Лукьянов А.Е. Гидрогеологические признаки геомеханической стратификации Петропавловского рудного поля / А.Е. Лукьянов // Материалы Уральской горнопромышленной декады (14–23 апреля). – Екатеринбург: УГГУ, 2008. – С. 49–51.

4. Лукьянов А.Е. Определение ориентировки водоносных тектонических структур в скальных породах Петропавловского рудного поля / А.Е. Лукьянов // Труды XII международного симпозиума студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова. – Томск: ТПУ, 2008. – С. 216–218.

Подписано в печать 24.11.2008. Бумага писчая. Формат 60×84 1/16  
Печать на ризографе Печ. л. 1.0. Тираж 100 экз. Заказ 174

---

620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30. Издательство Уральского  
государственного горного университета  
Отпечатано с оригинал-макета в лаборатории множительной техники  
издательства