

На правах рукописи



Мохов Александр Вадимович

ТРАНСФОРМАЦИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ГОРНОГО МАССИВА НА УЧАСТКАХ ОСВОЕНИЯ  
КАМЕННОУГОЛЬНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

*Специальность 25.00.16 – Горнопромышленная и нефтегазопромысловая  
геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр*

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание учёной степени  
доктора технических наук

РОСТОВ-НА-ДОНУ – 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт аридных зон Южного научного центра Российской академии наук (ИАЗ ЮНЦ РАН)

Научный консультант доктор геолого-минералогических наук, профессор  
Гавришин Анатолий Иванович

Официальные оппоненты: Батугин Андриан Сергеевич, доктор технических наук, доцент, НИТУ «МИСиС», профессор  
Гамов Михаил Иванович, доктор геолого-минералогических наук, доцент, ЮФУ, заведующий кафедрой  
Джигрин Анатолий Владимирович, доктор технических наук, ЗАО «МВК по ВД при АГН», директор по научной работе и перспективному развитию

Ведущая организация ФГБОУ ВПО «Кузбасский государственный технический университет им.Т.Ф. Горбачёва»

Защита состоится «25» декабря 2015 г. в 11 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.304.07 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» по адресу: 346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, ЮРГПУ(НПИ), ауд. 149 Главного корпуса.

Тел./факс (863-5) 22-84-63, E-mail [ngtu@novoch.ru](mailto:ngtu@novoch.ru)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЮРГПУ(НПИ) (г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132).

Автореферат разослан «\_\_» ноября 2015 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета  
Д 212.304.07, канд.техн.наук

Д.Н.Шурыгин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Безопасность и эффективность освоения угольных месторождений и состояние здесь окружающей среды находятся в тесной зависимости от обводнённости горных выработок. Особенно значительные и внезапные осложнения могут возникнуть вблизи водных объектов, включая системы затопленных выработок, о чём свидетельствуют, например, катастрофические последствия прорывов воды в шахту «Западная» (Восточный Донбасс) в 2003г.

Практика свидетельствует о невысоком качестве прогнозов проявлений водного фактора, слабой управляемости горно-геологическими и гидрогеологическими условиями разработки. Весьма типичны, в частности, серьёзные ошибки в определении величины и локализации ожидаемых притоков воды в горные выработки. Аналогичная обстановка сложилась вокруг прогнозных оценок гидрогеологических и геоэкологических последствий ликвидации шахт. Задача улучшения информационного гидрогеологического обеспечения освоения угольных залежей сохраняет свою актуальность.

Ключевой предпосылкой оценки условий освоения служит прогноз картины размещения и коллекторских свойств подземного пустотного пространства, характеризующихся значительным динамизмом. Главным фактором трансформации гидродинамических свойств горного массива признаётся процесс сдвижения. Значительное влияние оказывает, как впервые установлено автором, также затопление горных выработок.

Знание закономерностей преобразований породной среды даёт априорную информацию о текущем и будущем состояниях объекта геологических исследований при эксплуатации и по её завершению, повышает надёжность прогнозов, эффективность мероприятий по защите горного производства и окружающей среды, позволяет получать необходимые сведения с меньшими затратами. Выявление и учёт гидрогеологического значения таких наиболее существенных макромасштабных воздействий как сдвижение пород и затопление горных выработок, служат главной предпосылкой решения указанных задач, однако теоретически и методически разработаны недостаточно, либо совершенно не разработаны. При этом исключительное значение имеет развитие представлений о зонах водопроводящих трещин сдвижения (ЗВТС) – во многих случаях основных каналов поступления воды в шахты и выделения её оттуда.

**Степень разработанности темы.** Среди исследователей сдвижения в связи с его влиянием на гидродинамические свойства пород и формированием ЗВТС назовём С.Г.Авершина, А.С.Батугина, Е.В.Бошенятова, А.С.Ведяшкина, Б.Я.Гвирцмана, В.Н.Гусева, М.А.Июфиса, Д.А. Казаковско-го, Н.Н.Кацнельсона, А.Г.Кобилева, С.П.Колбенкова, Б.И.Леванькова,

П.М.Леонтовского, М.М.Лося, В.А.Мироненко, А.С.Миронова, А.Н. Мурашёва, Ю.Н.Нисковского, Ю.А.Норватова, А.Н.Рюмина, В.П.Самарина, А.Г.Скворцова, В.Д.Слесарева, Ф.П.Стрельского, И.В.Хохлова, Н.Ф.Шалагинова, А.С.Ягунова, Ф.Вига, Г.Кратча, Лю Тиан-Чуана, Т.Старона, И.Рабштина, Я.Фармера, Z.Kesseru, J.E.Tubby и др.

Правомерно констатировать, что многие закономерности сдвижения, его влияние на гидродинамические свойства пород изучены достаточно детально. Вместе с тем, далеко не все аспекты этого процесса и его последствия раскрыты в должной мере. Другое научное направление – трансформация породных толщ вокруг затопленных угольных шахт находится на начальной стадии развития. Обнаружение и изучение этого процесса связано с исследованиями автора диссертации.

Как показали наши исследования, развивающиеся при сдвигении массива и затоплении шахт процессы, помимо крупного масштаба развития имеют ряд общих закономерностей течения и гидрогеомеханических проявлений, что создаёт логическую основу для их совместного изучения.

**Цель исследований** состоит в выявлении закономерностей трансформации и формирования гидродинамических характеристик горного массива под влиянием сдвижения и вторичного водонасыщения для развития научных основ повышения промышленной и экологической безопасности и эффективности освоения угольных месторождений.

Одно из направлений работы заключается в выявлении и исследовании гидрогеологического значения сдвижения и развитии существующих представлений о его последствиях, в частности, в связи с формированием ЗВТС. Другое направление состоит в выявлении и изучении гидродинамических событий, возникающих в массиве в связи с вторичным водонасыщением пород при затоплении систем подземных выработок. Идейной основой работы служит учёт обнаруженных автором эффектов саморегуляции и самоорганизации массива как его атрибутивной реакции на указанные крупномасштабные воздействия.

#### **Основные задачи исследований:**

- Сбор, анализ, обобщение данных и представлений о процессах и гидродинамических последствиях сдвижения и водонасыщения массивов горных пород;
- Выявление закономерностей формирования трещинной расчленённости, проницаемости и фильтрационной структуры горного массива при сдвигении;
- Выявление закономерностей формирования и разработка моделей ёмкостных свойств горного массива под влиянием сдвижения;

- Развитие авторской концептуальной модели ЗВТС на участках очистной выемки угольных пластов системами с обрушением кровли;
- Изучение и разработка моделей трансформации гидродинамической структуры горного массива при вторичном его водонасыщении;
- Изучение трансформации гидродинамической структуры горного массива под влиянием активного водообмена в горных выработках.

Выводы диссертации базируются на обширном фактическом материале, собранном автором в Кузнецком, Донецком, Карагандинском, Челябинском, Львовско-Волынском бассейнах, на месторождениях Приморья, Забайкалья, Сахалина, Буланашском месторождении. Широко использованы разнообразные материалы научно-исследовательских, проектных, разведочных и угледобывающих организаций СССР и России.

Закономерности трансформации породной среды и её гидродинамических характеристик изучены с применением общенаучных и специальных методов анализа, обобщения и синтеза информации, включая решение обратных гидрогеологических и иных задач по материалам инструментальных наблюдений за сдвижением и деформациями земной поверхности и породного массива, данным о водопроявлениях в горных выработках на участках подработок водных объектов в недрах и на земной поверхности, вблизи затопленных шахт, режиме подземных вод в ходе эксплуатации и ликвидации угольных шахт.

#### **Научная новизна выполненных исследований:**

– впервые установлена упорядоченность фильтрационной структуры горного массива и отдельных слоев над выработанным пространством угольных шахт, характеризующейся инвариантно физико-механическим свойствам пород стабильностью рисунка и густоты сети, равнораскрытостью торцевых трещин у кровли слоев глинистого состава, с приближением их коэффициента фильтрации в направлении нормали к напластованию к константе около 0,003 м/сутки по мере роста площади водопроводящего трещинообразования на верхней поверхности слоя, что позволяет получать информацию о состоянии и гидродинамических характеристиках горного массива в ходе эксплуатации угольных месторождений и на этой основе выполнять эффективные прогнозы притока воды в обрушенное выработанное пространство, особенно, из подработанных водных объектов без проведения специальных природных геологоразведочных работ;

– разработаны модели ёмкостных свойств кавернозно-трещинного техногенного пустотного пространства, возникающего при сдвижении массива с саморегуляцией на участках разработки угольных залежей с полным обрушением кровли и выемочной мощностью более 1,3м, отличающиеся от известных учетом эффекта саморегуляции сдвижения и деформаций горного массива, что позволяет на новой общей на-

учно-методической основе надежно определять объем подземного пустотного пространства для определения количества находящейся в нем воды, скорости и сроков его затопления, в частности, при ликвидации шахт с затоплением горных выработок;

– установлен неизвестный ранее эффект самопроизвольной дизъюнктивной трансформации горных пород и фильтрационной структуры массива под влиянием генерированных затоплением горных выработок архимедовых сил, отличающиеся от известных эффектов новым механизмом и типологией, условиями проявления, что определяет необходимость и позволяет принять меры по предотвращению растекания в недрах шахтных вод из глубоко затопленных выработок ликвидированных шахт;

– впервые установлено неизвестное ранее образование крупных водопроводящих каналов архимедова разуплотнения внутри и на границах породных тел, способных к глубокой аккумуляции и активному высвобождению механических напряжений сжатия, определены гидростатические и временные условия возникновения водопроводящих структур разуплотнения, что позволяет выполнить определение условий прорыво-безопасной эксплуатации угольных залежей вблизи систем глубоко затопленных горных выработок и разработать проекты геозкобезопасной ликвидации угольных шахт;

– установлен неизвестный ранее эффект самопроизвольного формирования в обрушенном выработанном пространстве системы суффозионных каналов различного порядка и резко дифференцированной проницаемости, что позволяет выполнить определение локализации пунктов и интенсивности выделений шахтных вод из затопленных горных выработок ликвидированных угольных шахт;

– разработана концептуальная модель зон водопроводящих трещин сдвижения, учитывающая в отличие от существующих характеристики новых кинематических видов и зон водопроводящих трещин сдвижения, локализацию и размеры области распространения, условия и факторы формирования, проницаемость и ёмкостные свойства пород, гидравлический режим подземных вод в подработанном массиве, что позволяет более точно оценить гидродинамические свойства горных пород, выполнить надежный прогноз горно-геологических условий очистных работ в разнообразных обстановках, влияния эксплуатации на окружающую среду и геозкологических условий ее прекращения;

– установлены типовые элементы геофильтрационных схем окрестностей очистных выработок и условия их реализации с учетом проявлений саморегуляции сдвижения и деформаций горного массива, отличающиеся более точным и детальным соответствием взаимодействию горных выработок и скоплений воды по сравнению с существующими

представлениями, аттрактивностью ряда элементов схем, что позволяет выполнить надежный прогноз притока воды в выработанное пространство в разнообразных природно-технических обстановках без проведения специальных натурных исследований;

– получена новая информация о генерированных сдвижением и глубоким затоплением горных выработок характеристиках горного массива, отличающаяся по сравнению с существующими представлениями более точным и детальным соответствием состоянию угольных месторождений на стадии эксплуатации и по ее завершению, что позволяет расширить возможности применения метода гидрогеологических аналогий для прогноза притока воды в выработанное пространство и выделения ее оттуда, применить объективные критерии для подбора выработок-аналогов.

**Теоретическая и практическая значимость.** Получены фундаментальные результаты в области горной литогидрогеомеханики, горнопромышленной гидрогеологии, имеющие эвристическое и прогностическое значение. Обнаружены неизвестные ранее закономерности трансформации напряженно-деформированного состояния породной среды и формирования её гидродинамических характеристик в ходе и под влиянием сдвижения пород и затопления выработок шахт.

Развита теоретическая база и возможности для применения метода гидрогеологических (гидродинамических) и геомеханических аналогий при решении задач оценки ожидаемой гидрогеологической и горногеологической обстановки освоения угольных залежей, сдвижения и деформаций горных пород, управления состоянием и свойствами породного массива, гидрогеологическими и геомеханическими условиями и последствиями эксплуатации, а также постэксплуатационной стадии на основе априорной информации о гидролитогеохимических самопреобразованиях горного массива и аттракторах ряда его состояний.

Результаты исследований использовались и используются при составлении руководящих и методических документов, решении практических задач разведки и оценки горно-геологических и гидрогеологических условий ведения горных работ, ликвидации угольных шахт, управления гидрогеологическими условиями и геоэкологической обстановкой их эксплуатации, при ликвидации и на постликвидационном этапе, мониторинга геоэкологических последствий ликвидации. Разработки включены в руководящие документы федерального уровня, включая «Инструкцию по изучению и прогнозированию гидрогеологических условий угольных месторождений при геологоразведочных работах» (ГКЗ СССР, Мингео СССР, Минуглепром СССР, 1985г.), ряд отраслевых методических документов.

**Методология и методика исследований.** Задачи исследований решены с применением общенаучных и специальных, включая оригина-

нальные, методов обработки, анализа и синтеза информации, в частности, решения обратных гидрогеологических и иных задач, логико-математического моделирования геомеханических и геофильтрационных процессов. Для решения геомеханических задачи активно использована гидрогеологическая информация.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Под влиянием саморегуляции сдвижения и деформаций породной среды происходит формирование упорядоченной фильтрационной структуры горного массива и отдельных слоев над выработанным пространством угольных шахт, характеризующейся инвариантно физико-механическим свойствам пород стабильностью рисунка и густоты сети, равнораскрытостью торцевых трещин у кровли слоев глинистого состава, с приближением их коэффициента фильтрации в направлении нормали к напластованию к константе около 0,003 м/сутки по мере роста площади водопроницающего трещинообразования на верхней поверхности слоя;

2. Модели ёмкостных свойств кавернозно-трещинного техногенного пустотного пространства при сдвижении массива с саморегуляцией на участках разработки угольных залежей с полным обрушением кровли и выемочной мощностью более 1,3м;

3. Концептуальная модель самопроизвольного преобразования пустотности, фильтрационной структуры и проницаемости вмещающих горных массивов под влиянием глубокого затопления выработок шахт в пульсирующем режиме путём скоротечного образования и смыкания трещинных пустот, а в условиях активного водообмена в техногенном пустотном пространстве – также формирования внутри него системы суффозионных каналов различного порядка и дифференцированной проницаемости;

4. Трансформация фильтрационной структуры горного массива под влиянием глубокого затопления горных выработок после преодоления гидростатических и временных порогов воздействия проявляется в генерации и концентрации крупных водопроницающих каналов архимедова разуплотнения внутри и на границах породных тел, способных к глубокой аккумуляции и активному высвобождению механических напряжений сжатия;

5. Концептуальная модель ЗВТС с характеристикой новых кинематических видов и зон водопроницающих трещин сдвижения, локализации и размеров области распространения, условий и факторов формирования, проницаемости и ёмкостных свойств пород, гидравлического режима подземных вод в подработанном массиве.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается взаимной тесной корреляцией результатов интерпретации разнородных натурных данных в различных угольных регионах, высокой надёжностью



прогнозов горно-геологических и гидрогеологических условий подземной разработки угольных пластов на действующих шахтах, использованием результатов исследований при составлении руководящих документов федерального уровня и отраслевых документов, расследовании аварий в угольных шахтах, при разведке угольных месторождений СССР и России.

Результаты исследований изложены в серии отчётов о НИР, геологоразведочных работах, реализованы в проектах ликвидации десятков угольных шахт, мониторинга геоэкологических её последствий.

Основные положения работы апробированы на Всесоюзных и Всероссийских угольных совещаниях (1986–2014 гг.), конференциях, школах, симпозиумах, Международных геологических конгрессах в гг. Кемерово, Москва, Новокузнецк, Ростов-на-Дону, Санкт-Петербург, Пекин, Рио-де-Жанейро, Дармштадт, Донецк и др. (1985–2013 гг.).

Результаты исследований использованы при разведке угольных месторождений СНГ, расследовании аварий на шахтах «Александр-Запад» (1989 г.), «Глубокая» (1999 и 2000 гг.), «Западная» (октябрь-ноябрь 2003 г.) в Донбассе, выполнении прогнозов притоков воды в действующие шахты, составлении проектов ликвидации угольных шахт и карьеров, мониторинга гидрогеологических и экологических последствий ликвидации в различных регионах СССР и России. Они использованы в учебном процессе на ФПК руководящих работников Мингео СССР и Минуглепрома СССР Ростовского госуниверситета, при подготовке специалистов в ЮРГПУ (НПИ). Разработки отмечены медалью ВДНХ СССР.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 2 монографии, 2 руководящих документа федерального уровня, около 90 статей (в т.ч. 26 в изданиях по списку ВАК Минобрнауки России), получены 1 авторское свидетельство на изобретение и 1 патент на изобретение.

Структура диссертации отражает состав информационно-логических блоков, необходимых для постановки и решения рассматриваемых задач. Работа состоит из введения, 5 глав, заключения, изложенных на 311 страницах машинописного текста, включая 51 рисунок и 11 таблиц на 35 листах, списка использованной литературы из 180 наименований, 4 приложений. Главы 3-5 посвящены изложению результатов авторских исследований, приложение В – ряда практических рекомендаций; в Приложении Г приведены акты внедрения результатов исследований.

Диссертационная работа выполнялась в ИАЗ ЮНЦ РАН, ЮНЦ РАН, ЮРГПУ(НПИ), ВНИГРИуголь.

Автор выражает признательность специалистам углеразрабатывающих, геологоразведочных и других производственных организаций СССР и России, З.Н.Волковой, В.М.Гетману, А.В.Исаеву, В.Ф.Корнилову, В.В.Михайлову, А.Н.Околелову, О.Б.Стуловой, А.С.Тушинскому,

Д.Б.Шанину, С.Г.Шишкину и др., сотрудникам научно-исследовательских учреждений и вузов д.г.-м.н. С.С.Бондаренко, к.г.-м.н. Я.И.Зарубинскому, к.г.-м.н. Г.Н.Кашковскому, к.т.н. А.А.Корицкому, д.г.-м.н. С.Г.Параде, д.г.-м.н. Н.Н.Погребнову, к.г.-м.н. Н.И.Супруновой, к.г.-м.н. В.В.Трощенко и др. за предоставленные данные, ценные советы, содействие и помощь в работе над диссертацией.

Автор признателен Председателю Президиума ЮНЦ РАН академику Г.Г.Матишову, директору ИАЗ ЮНЦ РАН член.-корр.РАН Д.Г.Матишову за создание благоприятных условий для завершения диссертации.

Особую благодарность автор выражает своему научному консультанту д.г.-м.н., профессору А.И. Гавришину (ЮРГПУ(НПИ)), оказавшему помощь и поддержку при подготовке и апробации работы.

**В главе 1 рассмотрены теоретические основы техногенной трансформации гидродинамических характеристик и водопродводящей структуры горного массива на участках разработок каменноугольных месторождений подземным способом.**

Характеристики горного массива трансформируются в ходе освоения угольных залежей и по его завершению.

Преобразования служат следствием появления горных выработок, буровых скважин, отведения воды и газов из выработок и недр, затопления выработок, которые запускают процессы трансформации напряженно-деформированного состояния горного массива (НДС). Гидродинамически значимые события состоят в изменении количества, размещения, морфологии, размеров, сообщаемости элементов пустотного пространства, распределения, давления и движения в массиве флюидов.

Основные по масштабу изменения происходят под влиянием сдвижения, осушения горных пород и затопления систем выработок.

С водным фактором связаны суффозия, разуплотнение, гравитационную консолидацию массива, деформации земной поверхности.

Выводы о трансформации делаются на основе различных данных, прежде всего, материалах горных работ, результатах лабораторных и теоретических исследований. В последнем случае они базируются на известной или предполагаемой корреляции гидродинамических свойств и событий с НДС массива.

При оценках последствий сдвижения элементы массива уподобляются строительным конструкциям, деформации которых протекают по линейному закону.

В центре исследований находится проблема ЗВТС. Имеются различные модели и способы измерения её высоты. Вопрос о видах водопродводящих трещин практически не исследован. Представления о форме

ЗВТС и проницаемости пород внутри неё мало разработаны и противоречивы, как и критерии водопроводящего трещинообразования.

В главе рассматриваются методы определения проницаемости массива и измерения высоты ЗВТС, оценивается их разрешающая способность и определяется область рационального применения.

Анализ состояния изученности трансформации пород при сдвиге выявляет низкую степень разработанности и адекватности представлений об образовании трещин и их систем, размерах и форме области распространения водопроводящих деформаций, техногенной проницаемости пород, несовместимость отдельных выводов, слабую разработанность и несогласованность отдельных представлений о ЗВТС, неопределённость границ правомерности основных представлений. Эти выводы подтверждаются на практике низким качеством прогнозов гидрогеологических условий ведения горных работ особенно вблизи водных объектов.

Закономерности сдвига не могут считаться установленными с необходимой полнотой и детальностью. На это указывают, например, случаи грубых ошибок прогнозирования оседания земной поверхности. Они составляли, например, для Донецкого бассейна в среднем 30% (Л.П.Чепенко, 1979); в настоящее время погрешность оценок «сдвига и деформации» колеблется здесь от 20 до 100% (А.В.Тетерин, 2009).

Это обстоятельство предопределяет необходимость уточнения и выявления закономерностей сдвига и деформаций массива как научной основы для решения рассматриваемого комплекса вопросов.

Влияние затопления шахт на формирование гидродинамических показателей до работ автора было практически неизвестным и не ставилось как проблема.

Барьером на пути совершенствования геомеханических моделей служит недостаточная степень осмысления данных, преобладание геометрического, механистического и линейного подходов к анализу сдвига и деформаций. Негативные моменты не могут быть в общем случае преодолены в русле традиционного формально-геометрического подхода без развития общей теории трансформации флюидопородной среды.

**В главе 2 рассмотрен потенциал техногенных макровоздействий горнотехнических геосистем каменноугольных регионов на гидрогеологическую обстановку.**

Масштабное развитие горных работ в основных угольных бассейнах СНГ, наличие крупных систем затопленных выработок оказывает негативное воздействие на освоение запасов угля (поступление шахтных вод и газов в выработки действующих шахт), природную обстановку (выделения загрязнённых шахтных вод и токсичных газов на поверхность, её подтопление, загрязнение гидросферы).

Гидрогеологические условия эксплуатации и её последствия определяются множеством взаимовлияющих и взаимозависимых природных и техногенных факторов, находящихся в системных взаимосвязях, важных для исследуемой проблематики. Данный эмпирический факт нашёл своё выражение в разработке представлений о природно-технических (горнотехнических) геосистемах. Во взаимодействии факторов, образующих природный и техногенный блоки, рождаются гидрогеологически значимые мультипликативные эффекты.

Между месторождениями каменных углей имеется значительное вещественно-структурное сходство, генетически обусловленное близостью состава, строения, преобразований угленосных толщ. Имеются определённые закономерности в пространственном распределении и изменчивости коллекторских и других характеристик горного массива.

Механическая трансформация и гидродинамически значимое развитие горнотехнических геосистем происходит по ограниченному числу траекторий, предпосылкой чего служит литолого-структурное сходство месторождений, стабильность технологий освоения угольных залежей и ряд других причин. При этом сдвижение инвариантно в отношении физико-механических свойств пород (в образце) в широком диапазоне и обуславливает существенную нивелировку некоторых естественных различий объектов (Мохов, 1984, 1990, 2000).

Эти выводы служат предпосылкой и обоснованием статистической однородности и совместного использования гидрогеомеханических данных по различным месторождениям, правомерности основных геомеханических и гидродинамических экстраполяций в их пределах.

**Глава 3 посвящена исследованиям закономерностей формирования пустотного пространства каменноугольных месторождений и его гидродинамических характеристик под влиянием сдвижения по материалам наблюдений за сдвижением и деформациями горных пород и земной поверхности, водопроявлениями в выработках и массиве, а также информации о восстановлении затопленных шахт и иных данных.**

Обнаружено формирование трещин сдвижения 4 видов (объёмно-распределённые, обреза, межслоевого расслоения, раздвига), различающихся морфолого-генетическими признаками. Определены характеристики, распространение, условия формирования этих трещин, которые могут стать водопроводящими (Мохов, 1983, 2008).

Объёмно-распределённые трещины (ОТ) образуются при неравномерном прогибе слоёв, представляют собой парагенетические ассоциации торцевых, внутрислойных и межслоевых трещин расслоения, вполне равномерно рассеянных в массиве.

Трещины обреза (или линейноконцентрированные, или контурные) возникают при реализации напряжений среза, характерны для зон повышенного давления, тяготеют к границам выработанного пространства. Имеют высокую раскрытость, часто «сквозной» по отношению к слоям характер.

Формирование трещин раздвига и межслоевого расслоения происходит путем реализации напряжений отрыва и скалывания по дизъюнктивным контактам, ослабленным зонам и контактам различных слоёв.

Как установлено автором по результатам наблюдений за смещением глубинных реперов, ОТ формируются в слое пород при разработках нетонких пластов, если его прогиб в ходе активной стадии сдвижения превосходит определённую величину. В условиях субгоризонтального залегания она для слоёв аргиллитов и алевролитов составляет приблизительно  $1,10-1,15$  м, в условиях полого-наклонного –  $(1,10-1,15)/\cos \alpha$  (здесь  $\alpha$  – угол падения пород), то есть около  $1,15-1,20$ м, для песчаников –  $0,3-0,35$ м. Пороговое значение весьма стабильно в широком диапазоне прочностных свойств пород, мощности слоёв, глубин разработки в Карагандинском, Кузнецком, Кизеловском бассейнах, на Буланашском месторождении (Мохов, 1981-2008). Близость отношения критических величин оседания слоёв глинистых пород и песчаников к  $\mathcal{P}=3,14$  отражает волновой характер деформирования массива при прогибе.

Сопоставление результатов специальных наблюдений за уровнями подземных вод, распределением поглощающих горизонтов и оседанием слоёв подтверждают эти оценки условий приобретения слоями трещинной водопроницаемости (Мохов, 1984,1988,1990).

Выявлена возможность оседания поверхности и элементов массива в формах, названных «прогибом» и «проваливанием» (по субдизъюнктивным контактам), и условия их реализации (Мохов, 1980-2006).

При отсутствии зависящих слоёв песчаников максимальное оседание поверхности песчано-глинистых массивов в режиме связанного прогиба стремится к величине около  $1,2$ м и не зависит от вынужденной мощности  $m$  и только при  $m$  меньше приблизительно  $1,3$ м оказывается ей вполне пропорционально. Для массивов с такими слоями песчаников максимальное оседание стремится к величине около  $0,3$ м. Эти данные согласуются с заключением об условиях связанного прогиба слоёв глинистых пород, стабильности порогового значения оседания. Дискретность проявляется в широком диапазоне физико-механических свойств, тектонической нарушенности массива и глубин разработок.

Тенденция нелинейной зависимости прогиба от вынужденной мощности вплоть до полной потери связи наиболее сильна для первичных подработок. Приведенная в «Правилах охраны сооружения и природных

объектов ...» (1998 г. и более ранних лет) модель максимального оседания поверхности (поле ожидаемых значений) отвечает проваливанию подработанной толщи разной степени выраженности.

Увеличение воздействия сопровождается ростом разрыхления пород и высоты области развития дизъюнктивных деформаций, обеспечивающим приращение толщины подушки обрушенных и расслоившихся пород. Реализуется общее правило – усиление разрыхления элемента массива по мере возрастания степени преодоления порога критического воздействия – высоты обрушения (т.е. вынужденной мощности) и величины прогиба, прекращение разрыхления при допороговых возмущениях (Мохов, 1981-1998). Прослеживаются тенденции ослабления трансформации (степени и характера фрагментации), зональность деформаций пород, коллекторских свойств, изменения давления подземных вод и т.п., соответственно НДС с удалением от выработанного пространства. Природа эффектов связана с проявлением отрицательных нелинейных обратных связей, противодействием массива влиянию разработок, направленным на сохранение его естественного состояния.

Тенденция снижения деформаций до пороговых реализуется вследствие противодействующего их развитию структурообразования путём самовоздвижения малоопорных конструкций вокруг горных выработок различных типов – проявления самоорганизации массива. Потеря связи оседания с вынужденной мощностью отражает способность массива к саморегуляции сдвига, обусловленную компенсирующими вариациями самоподбучивания, расслоения и других видов реакции массива на внешнее воздействие. Самоорганизация служит способом осуществления саморегуляции (Мохов, 1998).

Предложена принципиальная схема развития опускания поверхности в условиях полной подработки с указанием характерных точек бифуркации процесса (Мохов, 2000).

Прослеживается такой аспект саморегуляции как «стремление» к сохранению ранее приобретенного состояния, что видно из случаев стабильности высоты ЗВТС (обнаружены ВНИМИ), сохранения водопроницаемости пород на том же уровне при повторных подработках.

На развитие саморегуляции породной основы указывают такие известные эффекты как стабильность шагов периодического обрушения пород в лаве, углов и формы мульд сдвига поверхности, распределения в плане деформаций земной поверхности и слоёв внутри подработанной толщи, существование деформационной макро- и мезозональности массива, смена типа деформаций и др.). О вовлечённости водной среды и других флюидов в саморегуляцию свидетельствует, например, ряд процессов, развивающихся вблизи водозаборных скважин (Мохов, 2001).

Саморегуляция сдвижения литогенной основы является частью общего процесса саморегуляции перемещения, деформаций и механического напряжённого состояния всех вместе компонентов многофазного горного массива.

При повторных подработках в результате роста структурной раздробленности и изотропности массива тенденции асимптотичности и способность к самоорганизации ослабевают.

Инвариантность параметров сдвижения и деформаций в широком диапазоне физико-механических свойств пород определяется перво-степенным влиянием на трансформацию структурных ослаблений массива, на что указывает, например, активизация сдвижения при повторных подработках, хотя характеристики пород (в образцах) остаются неизменными.

Существование эффекта саморегуляции использовано для интерпретации натуральных данных и производства эвристических выводов.

Стабильность критериев трещинообразования, параметров сдвижения для различных бассейнов свидетельствует об общности процессов трансформации массивов скальных и полускальных пород в области блочного сдвижения.

Учитывая рождение рассмотренных эффектов во взаимодействии значительного числа блоков-субъектов процесса, правомерно сделать вывод о его синергетической природе.

На основе обнаруженных закономерностей создана модель оседания пород над очистными выработками на участках разработки пологих и наклонных пластов средней мощности и мощных в условиях полного обрушения кровли. Модель фиксирует нелинейный характер снижения оседания и развитие его по асимптотической траектории по мере удаления от кровли выработанного пространства. Она может быть применена для расчёта высоты ЗВТС и созданной сдвижением пустотности массива.

Ёмкостные свойства кавернозно-трещинного пустотного пространства внутри водопроводящей структуры сдвижения оценены по разнице вынужденной мощности  $m$  и оседания  $\eta_r$  граничного слоя ЗВТС. В условиях разработки нетонких пластов последний показатель принимается равным 0,3 или 1,2м. Величину коэффициента потенциального заполнения водой  $W$  выработанного пространства в массивах песчано-глинистого состава предлагается определять с использованием следующей модели:

$$W \cong \frac{m - \eta_r}{m}.$$

Выполненные на её основе расчёты согласуются с данными определения коэффициента заполнения при восстановлении шахт Донбасса.

Разработана модель пустотного пространства и водопроницающей структуры горных отводов каменноугольных шахт (Мохов, 2003-2006).

Горное производство создаёт кавернозно-трещинное пустотное пространство решётчато-ячеистой структуры в плане с максимальной проницаемостью на месте капитальных и подготовительных выработок и существенно меньшей на месте очистных выработок (рисунок 1). Возникает стратиформная структура из отдельных страт с повышенными коллекторскими свойствами (по числу разрабатываемых пластов), включая обрушенное пространство и трещины сдвижения, гидравлически обособленных или соединённых между собой природными и различными техногенными «гидрогеологическими окнами», в т.ч. ЗВТС (рисунок 2). Основными тенденциями трансформации структуры в ходе и после прекращения горных работ является сочетание расширения и редукции.

Проницаемость пород внутри области ОВТ над выработанным пространством изучена по данным перетоков воды из затопленных выработок на вышележащих пластах в лавы на нижележащих (15 случаев) и полостей-трещин расслоения (2 случая) на 10 шахтопластах Кузнецкого, Донецкого, Челябинского бассейнов и Буланашского месторождения (таблица 1), а также перетоков между водоносными горизонтами (5 случаев) (Кузбасс и Печорбасс, Шкотовское месторождение).

Обработка результатов произведена путём решения обратных гидрогеологических задач с учётом выявленных закономерностей формирования перетока (прямолинейная связь с площадью подработки выработок и трещин расслоения, высотой водяного столба в них). Расчёт коэффициента фильтрации  $K_{вф}$  разделяющих массивов по нормали к напластованию выполнен с использованием модели А. Дарси, адаптированной автором к конкретной обстановке:

$$K_{вф} = \frac{26,4Q_0}{F_{пп} (H'_{ср} + m' + 1,1) \cos \alpha}, \text{ м/сутки,}$$

где:  $Q_0$  – водоприток в лаву из затопленных выработок, м<sup>3</sup>/ч;

$m'$  – мощность пачки известняков или песчаников основной почвы выработанного пространства, м;  $F_{пп}$  – площадь участка перетока, м<sup>2</sup>;

$H'_{ср}$  – средняя высота водяного столба в затопленных выработках над центральной частью участка подработки, м.

Частные значения  $K_{вф}$  близки к 0,003 м/сутки ( $\pm 20\%$ ) (таблица 1). Эти данные соответствуют результатам измерений ВНИМИ  $K_{вф}$  геотермическим методом на одной из шахт Кузбасса для разных интервалов разреза – 0,002 и 0,005 м/сутки, Шкотовского месторождения – 0,002 м/сутки. На одной из шахт в Печорском бассейне он равен по нашим пересчётам 0,01 м/сутки (с высокой погрешностью).



Таблица 1 – Параметры подработок водных объектов, сопоставление прогнозных и фактических значений перетоков воды и коэффициентов фильтрации разделяющего массива

№№ случая подработки	Вынута мощность $m$ , м /Мощность разделяющего массива, м	Средняя кратность подработки /Содержание ар-гиллитов и алевролитов в разделяющем массиве, %	Общая площадь подработки водного объекта $F_{пп}$ , 1000м <sup>2</sup>	Высота водного столба в водном объекте над центральной частью участка	Водоприток в подработавшую лаву из водного объекта $Q_0$ , м <sup>3</sup> /ч	Коэффициент фильтрации разделяющей толщи по нормали к напластованию $K_{вф}$ фактический без учёта структуры и оседания основания объекта и угла падения слоев / с учётом, м/сут.	* Коэффициент фильтрации разделяющего массива по нормали к напластованию $K_{вф}$ , м/сут. (по ВНИМИ) / ** Приток из водного объекта прогнозный $Q_n$ (по ВНИМИ), м <sup>3</sup> /ч	*** Приток из водного объекта прогнозный $Q_n$ по формуле автора, м <sup>3</sup> /ч / Расхождение прогнозного и фактического притока, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Подработка затопленных выработок</b>								
<b>Донецкий бассейн</b>								
1	1,1 / 16	15 / 74	10,6	4,5	Около 6	0,0027 / 0,0023	0,566 / 307	8 / +33
2	2,0 / 76-83	40 / 89	138	Около 14	До 200	0,0025 / 0,0023	0,024 / 158	260 / +30
3	Свыше 1,6 / 64	40 / 61	8,2	Около 25	Около 60	0,0074 / до 0,0047	0,061 / 28	40 / -33
<b>Челябинский бассейн</b>								
4	3,2 / 18	8 / 37	7,7	Около 20	До 50	До 0,0081 / до 0,0075	0,953 / 562	20 / -60
<b>Булашское месторождение</b>								
5	2,2 / 62	28 / 28-61	13	14	20-22	0,0028 / 0,0027	0,157-0,251 / 105-163	25 / +19

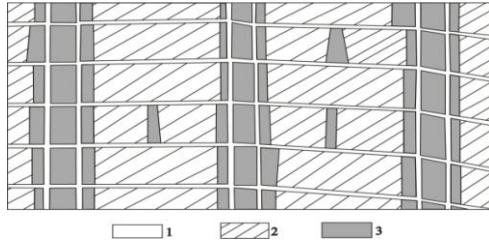
1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	2,3 / 50	22 / 41	7	17	18	0,0036 / 0,0036	0,248 / 127	16 / -11
Кузнецкий бассейн								
7	2,8 / 60	21 / 63	2,9	2,5	3	0,0049 / 0,0038	0,254 / 28	2 / -33
8	2,0-2,4 / 75	33 / 60	115	16	250	0,0033 / 0,0031	0,131 / 702	246 / -2
9	1,85 / 44	24 / 45	92	7,5	100-110	0,0037 / 0,0030	0,337 / 1278	107 / 0
10	2,05 / 44	21 / 45	69	5	50	0,0035 / 0,0025	0,375 / 1154	60 / +20
11	1,6 / 33	21 / 40	50	5	39	0,0026 / 0,0021	0,454 / 1045	44 / +47
12	2,0 / 64	32 / 45	6	15	5	0,0014 / 0,0013	0,186 / 55	12 / +224
13	2,45 / 75	31 / 60	458	0,1	50	0,0024 / 0,0025	0,155 / 2842	63 / +26
14	До 2,3 / 47	20 / 38	1,7	8	около 2	0,0034 / 0,0030	0,370 / 29	1 / -50
15	3,2 / 155	48 / 72	75	5	12	0,0007 / 0,0006	0 / 0	66 / +450
Подработка водного объекта в полости-трещине расслоения								
Кузнецкий бассейн								
16	1,7 / 36	21 / 21	6	4	4	0,004 / 0,0027	0,425 / Н.о.	Н.о.
17	2,9 / 60	21 / 58	3,2	59	До 30	до 0,0038 / до 0,004	0,344 / Н.о.	Н.о.

\* По формуле  $K_{вф} = lq \frac{H_T - 3m}{M - 3m}$  («Безопасная выемка....», 1977)

\*\* по формуле ВНИМИ для условного совпадения площади перетока и подработки водного объекта

$Q_{п} = 0,04 F_{пн} \left(1 + \frac{H_{ср}}{M}\right) lq \frac{H_T - 3m}{M - 3m}$  («Безопасная выемка....», 1977)

\*\*\* С учетом допущений: площадь перетекания равна общей площади подработки водного объекта, нижним контуром водного объекта считается подошва угольного пласта с затопленными выработками в положении  
естественного залегания; залегание слоев горизонтальное



1 – капитальные и подготовительные выработки; 2 – выработанное обрушенное пространство; 3-угольный пласт

Рисунок 1 – Решетчато-мозаичная фильтрационная структура подземного пустотного пространства в плановой проекции (принципиальная схема)

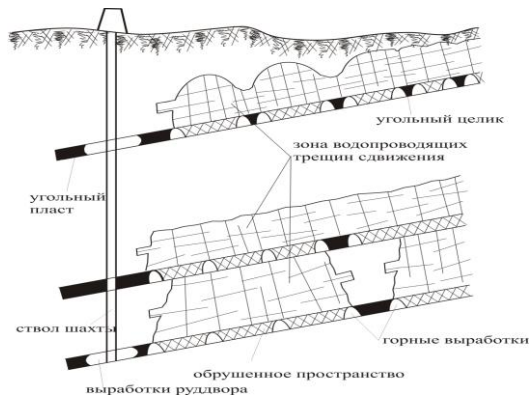


Рисунок 2 – Структура техногенного пустотного пространства в пределах горных отводов каменноугольных шахт (в разрезе)

Сравнение полученных различными методами массовых оценок (22 ед.) фильтрационных свойств частей массива показывает их сопоставимость или совпадение на всех объектах исследований. При вариациях отдельных значений характерная величина  $K_{вф}$  внутри указанных частей ЗВТС составляет около 0,003 м/сутки. Это значение служит одновременно оценкой фильтрационных свойств слоёв аргиллитов и алевролитов. Таким образом, слои глинистых пород обладают способностью приобретать равную проницаемость в ходе сдвижения по нормали к напластованию в условиях заведомо различных начальных значений этого показателя (Мохов, 1981-2001).

Отклонения от указанной величины связываются нами с существенным отличием (в меньшую сторону) участка перетекания от

общей площади подработки водного объекта в случаях 12 (затопленные выработки размещаются на висячем крыле крупного взброса) и 15 (мощность междупластья весьма значительна). Они минимальны, когда участки разгрузки и общей площади подработки практически равновелики (случай 13). Расхождение для случаев 4,7 отражает тенденции к некоторому увеличению сквозной проницаемости слоёв глинистых пород в непосредственной близости от зоны обрушения.

Стабильность проницаемости объяснена формированием сетей ОВТ регулярной структуры на поверхности (субпрямоугольных с шагом около 5м) и внутри (приблизительно через 1,1м у кровли) слоёв глинистых пород и мало различающейся раскрытости под влиянием саморегуляции сдвижения и НДС массива (Мохов, 2013).

В ходе логико-математического моделирования распространения трещин в плане установлена асимптотическая тенденция приближения  $K_{вф}$  к константе (0,003 м/сутки) по мере расширения участка перетока в кровле глинистого слоя. Представительная площадка имеет размер около 10 x 10 блоков для начальных условий заложения фильтрующих трещин по крестообразной (лучевой) схеме и 20 x 20 при кольцевой. Для слоёв одинаковой литологической принадлежности величина  $K_{вф}$  находится в прямой квадратичной зависимости от размера блоков (Мохов, 2001).

Внутри области развития ОВТ изменение проницаемости неоднородного массива по нормали к напластованию имеет ступенчатый вид; проницаемость слоёв увеличивается в ряду: аргиллиты, алевролиты – угли – известняки – песчаники.

Стабильность размеров ячеек сети ОВТ на поверхности слоёв корреспондируется со стабильностью шагов периодического обрушения кровли в лаве, которая свидетельствует о наличии предпосылок образования регулярных систем трещин и развитии волновых процессов.

Регулярность трещинообразования показывает, что слой, заведомо имеющий множество ослаблений, способен вести себя в ходе сдвижения как физически сплошная среда.

Таким образом, исследования выявляют ограниченность спектра реакций литогенной основы, направленность и повторяемость ряда её изменений – саморегуляцию сдвижения и деформаций массива. Сдвижение генерирует геоструктурные и иные поля определённых типов с фиксированными вариантами параметров состояния, направляя массив из точек бифуркации в один из возможных вариантов структур и областей характеристик. Наличие аттракторов является основой для квазиаприорных выводов о текущем и будущем состоянии и свойствах массива на участках подземных разработок. Упорядоченность поведения

массива создаёт предпосылки для проявлений гидродинамически однотипных, стабильных, немногочисленных эффектов, схем фильтрационного взаимодействия дрен и водных скоплений.

Выявленные эффекты и закономерности согласуются между собой, являясь элементами единой теории самодетормирования горного массива. Они до работ автора, за исключением отдельных частных явлений, известны не были и не рассматривались как грани единого процесса.

Изложенные результаты подтверждают непродуктивность механистического подхода к решению задач горной геомеханики, гидрогеомеханики и гидрогеологии, необходимость учёта нелинейности сдвижения и способности массива к саморегуляции своего состояния.

**Сформулированы 1-е и 2-е защищаемые положения:**

1. Под влиянием саморегуляции сдвижения и деформаций породной среды происходит формирование упорядоченной фильтрационной структуры горного массива и отдельных слоев над выработанным пространством угольных шахт, характеризующейся инвариантно физико-механическим свойствам пород стабильностью рисунка и густоты сети, равнонаправленностью торцевых трещин у кровли слоев глинистого состава, с приближением их коэффициента фильтрации в направлении нормали к напластованию к константе около 0,003 м/сутки по мере роста площади водопроницающего трещинообразования на верхней поверхности слоя;

2. Модели ёмкостных свойств кавернозно-трещинного техногенного пустотного пространства при сдвижении массива с саморегуляцией на участках разработки угольных залежей с полным обрушением кровли и выемочной мощностью более 1,3м.

**Глава 4 посвящена изучению процессов формирования гидродинамических характеристик пустотного пространства под влиянием затопления систем горных выработок шахт.**

Особенности и динамика пустотного пространства выявлены и исследованы на основе данных о водопроявлениях в выработках шахт, находящихся рядом с затопленными, а также водовыделений из них.

Трансформация проявляется, в частности, в снижении проницаемости и ёмкостных свойств обрушенных и трещиноватых пород вплоть до приобретения ими водоупорных свойств, либо, напротив, проявлении обратных по знаку эффектов. Она развивается под влиянием ряда

параллельно действующих факторов и механизмов, запущенных вторичным водонасыщением массива, прежде всего, перестройкой поля механических напряжений, пластификацией и суффозией увлажнённой породной массы в различных режимах.

Сопоставление значений коэффициентов заполнения и осушения для затопленных в 1940-х г.г. шахт Донбасса показывает на преобладание редукции пустотного пространства вследствие консолидации пород.

Постоянно действующий процесс гравитационной консолидации массива может прерываться фазами обострения с разрастанием пустотного пространства с увеличением ёмкостных и фильтрационных свойств.

В условиях интенсивного водообмена в горных выработках и сопутствующего ему проявления суффозионных процессов трансформация может происходить в более активном режиме.

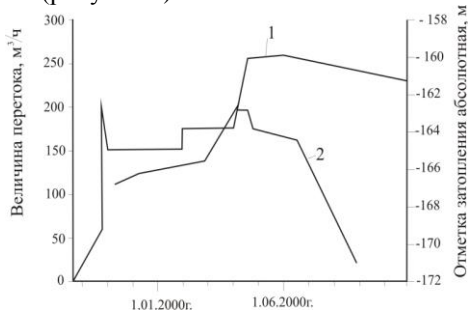
Эти выводы сделаны, в частности, по результатам гидромониторинга на ликвидированной «мокрым» способом антрацитовый шахте «Комиссаровская». Здесь обнаружены резкое различие дебита водовыпускных скважин, вскрывающих подготовительную или капитальную выработку, с одной стороны, и обрушенное пространство, с другой, минерализации и состава шахтных вод этих скоплений, что служит признаком их существенной гидравлической разобщённости. Значительные отличия с течением времени стали сглаживаться, что указывает на улучшение гидравлической связи погашенных подготовительных и других выработок с обрушенным пространством под влиянием суффозии заполнителя.

Результатом суффозии служит вторичное формирование в пустотном пространстве системы каналов резко различной проницаемости с приближением её к соотношениям и распределению, свойственным моменту завершения горных работ. Техногенная фильтрационная структура массива развивалась в направлении восстановления структуры решётчатоячеистого типа на месте разрабатывавшегося пласта (рисунок 1). В условиях интенсивного дренажа водного объекта в пустотном пространстве (высокой проточности) происходит локальное возрастание коллекторских свойств в режиме умеренного обострения (Мохов, 2003-2008, 2012-2014).

Обнаружены случаи трансформации породных сред вне причинной связи с движением воды, состоящие в самопроизвольном формировании водопроводящих трещин вокруг затопленных шахт. Они изучены по материалам мониторинга перетоков шахтных вод из затопленных шахт в действующие и изменения химического состава подземных вод (Мохов, 2005-2014).

При изучении гидрогеологической обстановки у целика между шахтами «Несветаевская» (затоплена) и «Соколовская» обнаружено появление, скачкообразное возрастание и пульсации перетока шахтных вод в действующую шахту ввиду изменения водопроницаемости породного целика под влиянием затопления смежных систем горных выработок.

В период эксплуатации целик имел водоупорные свойства. Переток развился через 7–8 месяцев после «подтопления» основания целика и создания гидростатического давления 115–120 м водяного столба на него. Поначалу по мере роста затопления шахты переток увеличивался монотонно, затем произошло изменение его режима. Так, в течение суток он возрос скачком с 60 до 200, спал до стабильной величины 150 м<sup>3</sup>/ч, позже (1.02.2000 г.) вырос на 25 м<sup>3</sup>/ч, с начала и до конца апреля – ещё на 80 м<sup>3</sup>/ч, и далее некоторое время оставался стабильным. Затем в условиях снижения уровня затопления произошло уменьшение и вновь существенное увеличение притока (рисунок 3).



1 – величина перетока; 2 – уровень затопления шахты «Несветаевская»

Рисунок 3 – Динамика перетока воды в шахту «Соколовская» из шахты «Несветаевская»

Эти данные указывают на приобретение массивом существенной проницаемости и образование трещин раскрытостью до нескольких миллиметров на ширину целика (до 100м). Пульсация перетока отражает изменение живого сечения новообразованных каналов фильтрации. Стабилизация или рост притока в условиях снижения уровня затопления свидетельствует об известной автономности трещинообразования от затопления. Вариации проницаемости связаны с динамикой НДС слоёв песчаника, отчасти слоёв другого состава.

Типологически близкие водопроявления отмечены на шахте «Западная». Затопление выработок на верхних пластах привело к увеличению притока, затем – прорывам воды в шахту через стволы, проходя-

щие сквозь массив с затопленными выработками. Здесь имели место случаи образования трещин в режиме разной степени обострения.

На первом этапе формирования водного объекта в старых шахтах притоки были незначительны, развиваясь в вялотекущем режиме.

Затем они стали довольно быстро нарастать, несмотря на стабильное положение уровня затопления шахт (глубина затопления у ствола с максимальными притоками составляла около 70м). Новый этап затопления старых шахт (глубина затопления около 120м) сопровождался приращением притока в стволы (с некоторым отставанием). Поступления воды имели блуждающий и пульсирующий вплоть до прекращения характер. Динамизм притока обусловлен периодическим образованием в околоствольных целиках водопроводящих каналов и пульсацией их сечения.

Рост глубины водного объекта в ходе третьего этапа подъема уровня (глубина затопления около 170м) привёл к формированию двух весьма крупных прорывов в стволы блоковый вентиляционный № 1 (февраль 2003г.) и главный № 2 (октябрь-ноябрь 2003г.).

Первый прорыв развивался довольно долго и какое-то время контролировался визуально (поначалу поступал по внезапно возникшей, затем эпизодически расширявшейся трещине). Второй прорыв был внезапным, сформировавшись в течение нескольких десятков секунд.

Оба прорыва имели пульсирующий дебит от 0 до 15 м<sup>3</sup>/с, представляя собой цепочку соизмеримых по величине проявлений – не менее 5 для первого и 20 для второго по времени прорыва (рисунок 4). В ходе второго прорыва зафиксированы сильные сотрясения массива, которые предшествовали импульсам притока.

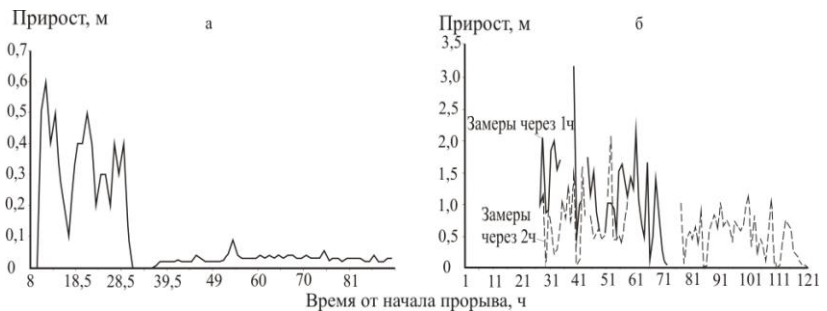


Рисунок 4 – Прирост уровня затопления шахты «Западная» по сравнению с предшествующим замером в ходе прорыва воды в блоковый вентиляционный ствол № 1 (февраль 2003г.) (а) и главный ствол № 2 (октябрь 2003г.) (б)



Поступление очередных фаз прорывов происходило, несмотря на снижение уровня затопления старых шахт. Завершение прорывов произошло в режиме обрыва, несмотря на подъём уровня затопления и рост давления на этот очаг. Засыпка стволов не повлияла на ход прорывов. Может быть констатировано их самопрекращение.

Анализ материалов показал, что прорывопроводящие пустоты локализовались в пачке крепких песчаников, выходящих в затопленное пустотное пространство. Вероятные очаги поступления обоих прорывов размещались на одинаковой глубине под уровнем затопления (160-170 м).

Особенности водопроявлений служат признаками скачкообразного образования, раскрытия и сужения водопроводящих трещин. Период пульсации проницаемости составлял 2-3 (а второго прорыва – также 45) часов. Образование трещин происходило, по-видимому, в течение нескольких десятков секунд, продолжительность пребывания в состоянии максимальной или близкой к ней раскрытости варьировала от нескольких минут до нескольких часов (Мохов и др., 2005; Мохов, 2006-2008). Протяжённость трещин в ходе второго прорыва составляла 100-150 м.

Сопоставление особенностей водопроявлений в стволах позволяет сделать вывод, что, возникая у поверхности раздела фаз «выработка – водонасыщенный массив – сухой массив», трещины распространяются затем вглубь толщи пород, «скользя» в виде линзы вдоль напластования внутри слоев песчаников. Количество этапов трещинообразования коррелирует с мощностью слоя и численно близко его значению, выраженному в метрах, что, возможно, указывает на стабильность расстояния – около 1 м – между трещинами расслоения последовательных генераций.

Отставание начала водопроявлений от затопления, рост и сохранение величины притока в стволы шахты «Западная», перетока сквозь целик в шахту «Соколовская» при снижении глубины водного объекта, соответственно, градиента гидравлического напора, пульсация расхода потока указывают, что трещинообразование явилось результатом проявления триггерного эффекта и разрядки уже вполне автономных от затопления напряжений в литогенной части массива (Мохов, 2005-2008, 2011, 2013, 2014).

Типология рассмотренных гидродинамических событий указывает на связь **механизма трещинообразования** с изменением НДС. Тяготение трещин к слоям весьма и наиболее прочной из развитых здесь пород, к тому же уже расчленённых трещинами, означает, что этот механизм не является аналогом классического инженерного и естественного гидроразрыва (и гидрорасчленения), что подтверждают инженерные расчеты.

Рассмотренные случаи трещинообразования связаны с изменением напряжённого состояния массива под влиянием сил архимедова взвешивания, созданных крупным подземным водным объектом. Указанные эф-

факты и значение этих сил в формировании вторичной расчленённости и проницаемости пород у затопленных систем выработок впервые установлены нашими исследованиями (Мохов, 2005-2008, Мохов и др., 2005).

Выявлено несколько чётко выраженных гидростатических и временных порогов включения водопроводящего трещинообразования.

Минимально раскрытые пульсирующие трещины возникают при длительном (около 10 лет) затоплении на глубину около 70м. Второй порог отвечает глубине затопления выхода в водный объект слоя песчаника-области потенциального трещинообразования около 100-110 м; его преодоление вызывает формирование среднераскрытых трещин через 7-8 месяцев. Третий порог соответствует глубине затопления около 160-170 м, определяя условия формирования прорывопроводящих трещин; для его перехода необходима «выстойка» массива на контакте с водным объектом продолжительностью около 13 месяцев. Каждому из порогов соответствует формирование определенных видов трещин.

Предложенный механизм позволяет дать непротиворечивое объяснение типологии прорывов и совокупности наблюдавшихся геомеханических явлений в выработках, недрах (включая растекание воды из затопленных выработок (Мохов, 2011), на поверхности с единых позиций.

Выявлено образование водопроводящих трещин двух видов.

Реализация напряжений происходит в форме упругого расширения и сжатия скелета с распространением объёмных сил в виде бегущих волн в разрезе слоёв и вдоль напластования с сопутствующей генерацией трещин. Исчерпание избыточного запаса энергии упругого сжатия вызывает прекращение трещинообразования.

Смыкание (самоликвидация) трещин отражает направленность процессов в системе «горная выработка – породный массив» на возвращение ее в исходное или на стабилизацию в новом устойчивом состоянии – проявление саморегуляции состояния и свойств.

Таким образом, выявлены возможность и факторы, как осложнения, так и упрощения фильтрационной структуры горного массива при затоплении шахт, причём последняя тенденция является доминирующей и долгосрочной. Для несвязанной с суффозией трансформации в принципе достаточно долговременного присутствия глубокого и крупного подземного водного объекта.

Итоговая реакция массива на его формирование служит проявлением саморегуляции состояния (в частности, трещинной расчлененности) породной среды.

**Сформулированы 3-е и 4-е защищаемые положения:**

3. Концептуальная модель самопроизвольного преобразования пустотности, фильтрационной структуры и проницаемости вмещающих гор-

ных массивов под влиянием глубокого затопления выработок шахт в пульсирующем режиме путём скоротечного образования и смыкания трещинных пустот, а в условиях активного водообмена в техногенном пустотном пространстве – также формирования внутри него системы суффозионных каналов различного порядка и дифференцированной проницаемости;

4. Трансформация фильтрационной структуры горного массива под влиянием глубокого затопления горных выработок после преодоления гидростатических и временных порогов воздействия проявляется в генерации и концентрации крупных водопрводящих каналов архимедова разуплотнения внутри и на границах породных тел, способных к глубокой аккумуляции и активному высвобождению механических напряжений сжатия.

**В главе 5 представлена концептуальная модель зон водопрводящих трещин сдвижения на участках очистной выемки пологих и наклонных каменноугольных пластов** на основе синтеза выводов автора и подтвердившихся на практике разработок других специалистов. Установлены области определения моделей отдельных показателей ЗВТС.

Модель включает данные о видах водопрводящих трещин, размещении их относительно выработанного пространства и элементов структуры массива, геометрических и фильтрационных характеристиках, других показателей и свойств, факторах формирования ЗВТС.

В её основе лежат представления о нелинейном блочном характере сдвижения и деформаций массива с тенденцией к саморегуляции.

**Виды водопрводящих трещин.** ЗВТС состоят обычно из трещин нескольких видов одновременно. Выявлены различающиеся по морфологическим признакам и генезису водопрводящие трещины 4 видов – объёмнораспределённые, обреза, межслоевого расслоения и раздвига. Типично обособление областей концентрации и локализации водопрводящих трещин различных видов.

Наибольшую область распространения имеют обычно ОБТ. Они концентрируются и преобладают в средней и верхней частях ЗВТС над выработанным пространством, обычно определяя её высоту, характеризуются незначительной раскрытостью. Распределение трещин в прикровельной части слоёв аргиллитов и алевролитов внутри верхней половины ЗВТС над выработанным пространством имеет регулярный характер.

Трещины обреза тяготеют к боковым границам ЗВТС. Высота распространения над выработанным пространством не превышает обычно 20м, глубина под ним – первых метров.

Раскрытость трещин межслоевого расслоения может быть весьма значительна и всегда динамична, а протяжённость в сторону от выработанного пространства достигать 150м.

Трещины раздвига обладают весьма высокой и динамичной раскрытостью. Над выработанным пространством их длина соизмерима с протяжённостью сместителя нарушения и составляет сотни метров.

**Форма, размеры, проницаемость ЗВТС** весьма динамичны.

Распространение трещин прямо связано со степенью вовлечённости частей толщи пород в сдвиг и преодолением вещественно-структурными элементами массива порога критических деформаций. Рост размеров выработанного пространства в плане сопровождается поступательным скачкообразным расширением ЗВТС до некоторого предела. Зона формируется как позади, так и впереди забоя выработки и над ним. В условиях пологого и наклонного залегания большая по объёму часть зоны размещается над выработанным пространством.

Наиболее сильными факторами (определяют первичный импульс возмущений, геомеханическую устойчивость и инертность элементов массива, потенциал диссипации возмущений) являются: способ управления горным давлением, размеры выработанного пространства по высоте и в плане, скорость и равномерность подвигания забоя, наличие близости и относительное размещение другого выработанного пространства, предшествующих подработок и надработок, ослабленных зон, литологический состав, чередуемость слоёв в массиве.

Наименее благоприятной для распространения ОВТ является среда, где преобладают песчаники и конгломераты, а глинистые породы имеют подчинённое значение и относительно равномерно распределены в разрезе. Слои-мосты служат временной преградой трещинообразованию. При оседании моста наблюдаются ускоренное распространение трещин непосредственно над ним, однако его удалённость от выработанного пространства, напротив, снижает высоту зоны. Зависание кровли способствует формированию трещин в почве выработанного пространства (Мохов, 1983, 1984, 1990). Предварительное разрушение мостов благоприятствует быстрому распространению трещин. Этот вывод коррелируется с известным положительным влиянием нарушенности структуры массива на интенсивность сдвига.

Со слоями устойчивых жёстких пород (песчаники, известняки) связано появление водопроводящих трещин в виде ответвлений от основной части зоны в сторону от выработанного пространства в плане.

Формированию трещин обреза благоприятствует расположение границ целиков на соседних пластах в одном створе.

Структурные показатели породной среды различного масштаба являются в общем случае главными факторами, определяющими геомеханическое поведение массива и его отдельных частей, соответственно, форму, размеры и характеристики ЗВТС. Влияние физико-механических

свойств пород (в образце) незначительно (Мохов, 1990). Наличие тектонических (и иных) нарушений в целом способствует образованию водопроводящих трещин раздвига и обреза.

Время жизни ОВТ в песчаниках и известняках неопределённо долгое. В глинистых неразмочающих породах они способны сохраняться на протяжении десятилетий. Весьма долгоживущими являются трещины обреза. Минимальную продолжительность существования имеют трещины расслоения и раздвига.

Слои глинистых пород оказывают буферное влияние на проницаемость ЗВТС по нормали к напластования.

При первичных подработках увеличение размеров выработанного пространства вызывает с определённого момента прирост высоты зоны в отстающем режиме. Влияние возмущений ослабляется вплоть до полной нивелировки саморегуляцией состояния массива, придающей распространению трещин над выработанным пространством и проницаемости его элементов асимптотический и практически инвариантный характер в широком диапазоне изменчивости показателей месторождений. С саморегуляцией связана возможность сохранения положения верхней границы ЗВТС при повторных подработках.

Форма ЗВТС определяется степенью распространения трещин различных видов. Саморегуляция сдвижения и деформаций, способность массива к самоорганизации обеспечивают развитие ограниченного количества вариантов и стабильность формы ЗВТС.

В условиях преимущественного распространения трещин одного из видов над ним образуется ЗВТС элементарной (простейшей) формы (рисунки 5 а-г).

Зоны трещин обреза над и под выработанным пространством имеют «коробковидную» форму, опирающуюся донной частью на него (рисунок 5 а), во втором случае, опрокинутую. В литологически однородных массивах зоны ОВТ имеют облик усечённой пирамиды (рисунок 5 з,и), отклоняясь от неё при смешанном составе породной толщи. Здесь имеются ответвления ЗВТС, приуроченные к слоям песчаников, конгломератов и известняков. При наличии в подработанной толще нескольких слоёв таких пород зона имеет здесь вид «многошляпочного гриба» (рисунки 5б, д). В надработанной части массива зоны имеют, вероятно, аналогичную форму. Ответвления связаны также с трещинами расслоения и сместителями крупных нарушений.

Развитие водопроводящих трещин различных видов предопределяет наложение зон элементарной формы (рисунок 5д).

Деформационная изменчивость свойств массива может привести к образованию под влиянием очистной выработки нескольких обособ-

ленных друг от друга пространственно и гидравлически ЗВТС вокруг выработок на различных пластах (в разрезе)(рисунок 5з,к).

Типичные формы ЗВТС представлены на рисунках 5 (е-к).

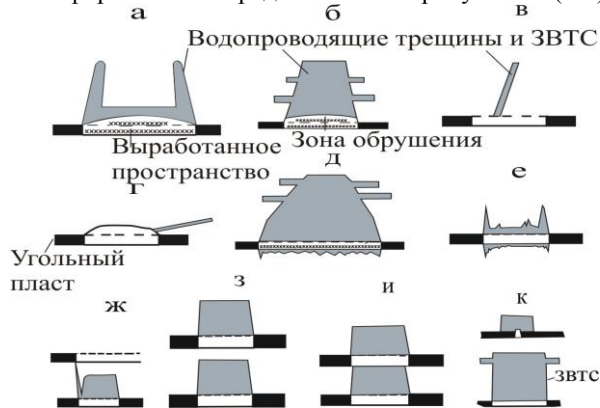


Рисунок 5 — Форма ЗВТС (в разрезе): элементарные формы над выработанным пространством в условиях развития трещин обреза (а), ОВТ (б), трещин раздвига (в), расслоения (г); наиболее распространенная (д); при разработке на небольшой глубине (е), разработке нескольких пластов на участке (ж-и), над подработанной выработкой (к)

Математические модели высоты ЗВТС  $H_T$  к концу активной стадии сдвижения разработаны на основе обобщения массовых материалов подработок затопленных выработок в Кузнецком, Донецком, Челябинском бассейнах и на Буланашском месторождении. Для  $m = 1,0 \div 3,0$  м они имеют следующий вид (Мохов, 1983-1985):

$$- \text{в метрах } H_T = -22,5m + 13,5m^2 + 1,7m^3 + 33, \text{ м,}$$

$$- \text{в единицах вынутаго мощности } K_T = 30m - 15,5m^2 + 3,4m^3 + 1.$$

Эти зависимости выражают максимально возможную высоту зон ОВТ.

При размещении в кровле выработанного пространства трудно-обрушаемого слоя высота зоны увеличивается на его мощность.

Глубина ЗВТС в почве выработанного пространства составляет несколько метров и только у крупных разрывных нарушений может достигать первых десятков метров.

Боковая граница зоны ОВТ в аргиллитах и алевролитах приблизительно ограничивается плоскостями, проведенными под углом полных сдвижений. Непосредственно над выработанным пространством ширина ответвлений из ОВТ составляет обычно 5–8 м. По мере удаления она по-

началу возрастает, а затем снижается. В своей средней части размеры зоны в слоях известняков и песчаников шире в плане на  $50 \div 70$  и  $150$  м (от границ выработанного пространства), соответственно, чем в слоях глинистых пород. Аналогичные размеры имеют ответвления из трещин межслоевого расслоения.

В распределении **коллекторских свойств пород** имеется плановая и вертикальная неоднородность и зональность.

В зоне прогиба пород с образованием трещин проницаемость максимальна по трещинам расслоения, становясь в момент их наибольшего раскрытия весьма высокой, затем снижаясь по мере закрытия.

В области распространения ОВТ над и под выработанным пространством возникает слоистая трещинная структура, где отдельные страты, связанные с породами различного состава, имеют весьма дифференцированную проницаемость. Внутри верхней и средней частей области развития ОВТ  $K_{\text{вф}}$  слоёв глинистых пород составляет около  $0,003$  м/сутки. Массив, включающий хотя бы один слой аргиллитов или алевролитов мощностью не менее  $3$  м, характеризуется здесь субвертикальной проницаемостью на этом уровне (Мохов, 1980, 1983). В нижней половине ЗВТС  $K_{\text{вф}}$  слоёв глинистых пород может быть намного выше.

Коэффициент фильтрации слоёв песчаников по нормали к напластованию может достигать нескольких м/сутки. Разработана модель для его расчёта в зависимости от размеров техногенных блоков пород.

По трещинам обреза, расслоения и раздвига массив может иметь «неограниченно» высокую проницаемость.

Ёмкостные свойства массива внутри ЗВТС характеризуются зональностью и анизотропией, аналогичной по структуре показателям проницаемости. Модель величины ёмкостных свойств массива, основанная на установленных автором закономерностях сдвижения и деформаций, приведена в главе 3.

**Гидродинамические граничные условия на контурах и внутри ЗВТС.** Внешние границы ЗВТС служат контуром дренажа (стока) подземных и поверхностных вод – границами с постоянным расходом. Аналогичные функции они выполняют при водовыделениях из затопленных шахт. Трещины расслоения и обреза направляют поток воды в выработанное пространство.

Внутри зоны ОВТ на контактах глинистых и песчаных слоёв, а также внутри мощных слоёв происходит гидравлический разрыв нисходящего фильтрационного потока.

**Эффективность концептуальной модели ЗВТС.** Разработанная модель является более полным и точным, чем аналогичные, выражением реальных характеристик и свойств ЗВТС.

На массовых материалах подработок затопленных выработок и других данных показано, что предложенные модели высоты зоны позволяют осуществить её оценку (и прогноз прорывобезопасности) с большей надёжностью, чем на основе входящих в нормативные документы моделей ВНИМИ для водных объектов различных категорий.

Авторский вывод о величине проницаемости массива песчано-глинистого состава внутри ЗВТС по нормали к напластованию находит подтверждение при прогнозировании притока воды в горные выработки.

Проверка на рассмотренных материалах подработок затопленных выработок показала удовлетворительную сходимоть прогноза с величиной расхождений +450-минус 60 (в среднем по модулю 52)% (с учетом указанных выше грубых допущений). Оценка проницаемости на основе логарифмической модели ВНИМИ даёт среднее значение расхождения 11069%, частных прогнозов до +24509%, в основном, в сторону завышения (таблица 1).

Созданные модели высоты ЗВТС оказываются также более эффективными при прогнозировании возможности поступления отсюда притока воды и формы водопритока по сравнению с моделями, фигурирующими в таких руководящих документах, как «Правила охраны сооружений и природных объектов ...» (1998г.); «Инструкция по безопасному ведению горных работ у затопленных выработок» (1995г.).

При прогнозировании перетока из затопленных выработок на обучающей выборке среднее расхождение его величины по методике автора составило 69% (с теми же допущениями), по ВНИМИ – 2037 (частное – до 5534)% (таблица 1).

Проведенное сравнение свидетельствует о большей степени соответствия разработанных представлений о трещинообразовании, проницаемости и граничных условиях натурной обстановке (Мохов, 1984,1987).

По сравнению с существующими функциональными аналогами, созданные автором модели отдельных показателей ЗВТС характеризуются согласованностью между собой как части целого.

Математическая модель высоты ЗВТС, выводы о величине проницаемости глинистых пород по нормали к напластованию внутри неё вошли в ряд руководящих документов.

#### Сформулировано 5-е защищаемое положение:

5. Концептуальная модель ЗВТС с характеристикой новых кинематических видов и зон водопроводящих трещин сдвижения, локализации и размеров области распространения, условий и факторов формиро-



вания, проницаемости и ёмкостных свойств пород, гидравлического режима подземных вод в подработанном массиве.

### **Заключение**

На основе исследования натуральных данных установлены неизвестные ранее закономерности сдвижения и деформаций, изменения напряжённого состояния горного массива, впервые выявлены и исследованы эффекты гидродинамически значимой его трансформации под влиянием затопления систем горных выработок. Обнаружены явление саморегуляции состояния массива и проявления способности его к самоорганизации, показана их синергетическая природа.

Выявлены элементы фильтрационной структуры массива в пределах горных отводов каменноугольных шахт и их пространственно-временная динамика. Разработаны геометрические и математические модели элементов кавернозно-трещинного техногенного пустотного пространства, его проницаемости и ёмкостных свойств. Выявлены типовые схемы геофильтрации окрестностей очистных выработок шахт.

Создана развитая концептуальная модель ЗВТС, разработаны новые модели её высоты над выработанным пространством, способ измерения в натуральных условиях. Установлена область рационального применения известных способов измерения высоты зоны, оценена их эффективность. Разработана модель притока воды в очистные выработки из подработанных затопленных выработок по ЗВТС.

Разработана концептуальная модель преобразования пустотного пространства горных отводов под влиянием затопления шахт.

Выявлен определённый параллелизм трансформации массива силами архимедова взвешивания и сдвижением. Установлена возможность развития ряда гидродинамически важных процессов с качественно и количественно предсказуемыми результатами отдельных преобразований породной среды.

Перенос наиболее общих результатов литогеомеханических исследований на гидрогеологическую проблематику позволил дать непротиворечивое и системное истолкование различным гидрогеомеханическим событиям в выработках шахт и вмещающем массиве. Созданы предпосылки более глубокого понимания и исследования механической трансформации породных толщ внешними воздействиями на основе гидрогеологических данных. Сделан шаг к созданию единой теории геомеханических процессов.

На этой базе созданы кластеры априорной информации об угольных объектах, разработаны рекомендации по изучению и

прогнозированию гидролитогеомеханических и геоэкологических аспектов обстановки угольных месторождений в ходе освоения и по его прекращению.

Результаты исследований способствуют ликвидации ряда пробелов информационного обеспечения освоения угольных месторождений, росту эффективности их разведки, повышения степени управляемости горно-геологическими и гидрогеологическими условиями эксплуатации угольных залежей и состоянием окружающей среды.

Решена научная проблема изучения, прогнозирования и учета изменения водопроницаемости и фильтрационной структуры горного массива на участках освоения угольных залежей подземным способом под влиянием сдвижения горного массива и затопления подземных горных выработок, позволяющая на новой геоинформационной основе с учетом выявленных автором неизвестных ранее закономерностей сдвижения и деформаций горного массива выполнять надежные прогнозы притоков воды в выработанное пространство шахт, оценку прорывобезопасности смежных угледобывающих предприятий, геоэкологических последствий ликвидации шахт, осуществлять обоснование природоохранных горных технологий при проектировании, эксплуатации и ликвидации горных предприятий, что имеет важное хозяйственное значение в области освоения угольных и иных месторождений твердых полезных ископаемых.

Исследования автора привели к изменению сложившихся представлений и положений руководящих документов, однако сохраняется актуальность внесения новых корректив, для чего имеется изложенная в диссертации научная основа. В эвристичности и прикладном значении основных разработок и выводов диссертации, примененных методических подходов убеждают положительные результаты их научных и практических приложений автором, другими исследователями и на производстве.

**В приложении В** содержатся рекомендации по прогнозированию ряда элементов гидрогеологических условий эксплуатации каменно-угольных месторождений подземным способом и гидродинамических последствий ликвидации шахт в условиях пологого и полого-наклонного залегания: определению контура дренажа, проницаемости пород, градиента напора, граничных условий, расчёту и измерению высоты зоны объёмнораспределённых водопроводящих трещин сдвижения, определению коэффициента заполнения выработанного пространства водой, прогнозу притока воды из подработанных затопленных выработок, оценке прорывоопасности работ у водных объектов и вблизи затопленных шахт, определению пунктов выделений шахтных вод и «мёртвого» воздуха из них.

**В приложении Г** помещены акты внедрения разработок автора по теме диссертации.

Результаты исследований по теме диссертации опубликованы в следующих основных работах автора:

***В изданиях, рекомендованных ВАК РФ***

1. **Мохов А.В.** Прогнозная оценка гидрогеологических условий и управление водопритоком при подработке затопленных выработок // Уголь. – 1987. – № 3. – С.46-49.
2. **Мохов А.В.** Влияние структурно-деформационных характеристик угленосных толщ на распространение водопроводящих трещин // ФТПРПИ. 1990. – № 2. – с.74-79.
3. **Мохов А.В.** Расчёт ожидаемого притока воды в очистную выработку из-за барьерного целика // Уголь. – 1993. – № 1. – С.38-39.
4. **Мохов А.В.** Закономерная изменчивость скальных пород под влиянием сдвижения на участках подземной выемки угольных пластов с обрушением кровли // Горный информац.-аналитич. бюллетень. М.: Моск. гос. горн. ун-т. – 1998. – №6. – С. 179 –184.
5. **Мохов А.В.** Прогнозирование выделений шахтного воздуха на земную поверхность при затоплении горных выработок // Уголь. – 1999. – № 12. – С.61-64.
6. **Мохов А.В.** Геомеханические аспекты консервации и ликвидации каменноугольных шахт с затоплением горных выработок // Горный информац.-аналитич. бюлл. – М.: Моск. гос. горн. ун-т. – 2000. – №5. – С.196-198.
7. **Мохов А.В.** Изучение фильтрационных свойств пород на месторождениях твёрдых пластовых полезных ископаемых / Тезисы Докл. XXXI Межд. геол. конгресса // Отечественная геология, 2000, №8. –С. 52.
8. **Мохов А.В.** К вопросу о закономерностях сдвижения земной поверхности на участках подземной разработки твёрдых пластовых полезных ископаемых // Горный информац.-аналитич. бюлл. – М.: Моск. гос. горн. ун-т. – 2000. – №12. – С.145-151.
9. **Мохов А.В.** К расчету оседания пород в зоне полных сдвижений на участках разработки пологих и наклонных каменноугольных пластов средней мощности с обрушением кровли // Горный информац.-аналитич. бюлл., М.: Моск. гос. горн. ун-т, №10, 2004. – С.94-98.
10. **Мохов А.В.,** Калинин В.М., Фролов А.В. Анализ причин и механизма прорыва воды в шахту «Западная» ООО «Компания «Ростов-уголь» // Безопасность труда в промышленности, №11, 2005. – С.11-16.
11. **Мохов А.В.** О водопроницаемости барьерных целиков затопленных угольных шахт // Изв. Вузов. Сев.-Кавк. Региона. Естеств. Науки. Приложение, №5, 2006. – С.77-81.

12. **Мохов А.В.** Трещинообразование под влиянием затопления угольных шахт и его гидродинамическое значение // Доклады РАН. 2007, том 414, №2. — С.223-225.

13. **Мохов А.В.** Морфология зон водопроводящих трещин сдвижения на участках подземных разработок каменноугольных залежей // Горный информац.-аналитич. бюлл. М.: Моск. гос. горн. ун-т. — 2008. — № 1 — С. 273-281.

14. **Мохов А.В.** Влияние затопления каменноугольных шахт на динамику пустотного пространства в угленосном массиве // Горный информац.-аналитич. бюлл. М.: Моск. гос. горн. ун-т. — 2008. — № 3. — С.196-205.

15. **Мохов А.В.** О путях предотвращения прорывов воды в горные выработки из затопленных каменноугольных шахт // Технолог. граждан. безопасн. — 2008. — № 1-2 (15-16). С.188-193.

16. **Мохов А.В.** К вопросу о трансформации горного массива под влиянием затопления каменноугольных шахт //Маркшейдерия и недропольз. — 2008. — №5. — С.44,49-50.

17. **Мохов А.В.** Оценка прорывоопасности очистной выемки каменноугольных пластов с обрушением кровли под водными объектами (по материалам подработок затопленных выработок) // Горный информац.-аналитич. бюлл. М.: Моск. гос. горн. ун-т. — 2011. — № 2. —С.47-54.

18. **Мохов А.В.** К вопросу о рациональном приближении очистных работ на каменноугольных шахтах к поверхностным водным объектам в плане // Горный информац.-аналитич. бюлл. М.: Моск. гос. горн. ун-т. — 2011. — № 3. —С.48-55.

19. **Мохов А.В.** О растекании шахтных вод из затопленных угольных шахт в недрах // Доклады РАН. —2011, том 438. — № 4. — С.494-496.

20. **Мохов А.В.** О гидрогеохимической структуре водного объекта в затопленных выработках каменноугольных шахт // Доклады РАН. — 2012, том 445. — № 3. — С.324-326.

21. **Мохов А.В.** Гидродинамическая эволюция пустотного пространства каменноугольных шахт под влиянием затопления // Вестник Южного научного центра РАН. —2012, том 8. — № 3. — С.42-49.

22. **Мохов А.В.** Трансформация напряженно-деформированного состояния горного массива под влиянием затопления каменноугольных шахт // Горный информац.-аналитич. бюлл. М.: Моск. гос. горн. ун-т. — 2013. — № 1. — С.147-153.

23. **Мохов А.В.** О проницаемости горных пород в зоне сдвижения на каменноугольных месторождениях (по материалам подработок затопленных выработок) // Доклады РАН. – 2013, Том 452. – № 3. – С.300-302.

24. **Мохов А.В.** Подземные воды как индикатор геомеханических процессов // Горный информац.-аналитич. бюлл. М.: Моск. гос. горн. ун-т. – 2014. – № 3. – С. 273-281.

#### *Авторское свидетельство на изобретение*

**Мохов А.В.** Способ определения высоты зоны флюидопроводящих трещин в массиве осадочных горных пород. А.с. 1162970 СССР. Опубл. 23.06.85. – Бюл. № 23.

#### *Публикации в других изданиях*

**Мохов А.В.** Определение условий безопасной подработки затопленных выработок // Уголь. – 1983. – № 11. – С.58-60.

**Мохов А.В.** Новые методы прогнозной оценки условий разработки угольных месторождений Кузнецкого бассейна вблизи водных объектов / Ресурсы твёрдых горючих пол. ископ., их увелич. и комплексн. рац. исполъз. в нар. хоз.: Тез. докл. VII Всесоюз. угольн. совещ. – Ростов н/Д, 1981. – С.99-100.

**Мохов А.В.** О применении метода аналогий при оценке запасов угля вблизи водных объектов / Комплексное изучение ресурсов твёрдых горючих ископаемых Юж.-Сиб. региона и их исполъз. в народном хозяйстве: Тез. докл. Всесоюз. совещ., 1983 г. – М., 1983. – С. 124-126.

**Мохов А.В.** Влияние тектонической нарушенности массива горных пород на условия безопасной подработки затопленных выработок шахт (на примере пологих и наклонных пластов Кузбасса) / Роль тектоники в формир. горно-геологич. факторов угольн. мест.: Сб. науч. тр. ВСЕГЕИ. – Л., 1983. – С.216-222.

**Мохов А.В.** Некоторые закономерности формирования водопрводящих трещин на месторождениях угля / Изуч. и прогноз гидрогеол. и инж-геол. услов. месторожд. полезн. ископаем.: Сб. науч. тр. ВСЕГИНГЕО – М., 1983. – Вып. 150. – С.30-36.

**Мохов А.В.** Способ определения высоты зоны водопроводящих трещин в массивах осадочных горных пород / Пути повыш. достоверн. результ. геологич. исследов. на угольн. и сланц. месторожд.: Сб. науч. тр. ВСЕГЕИ – Л., 1985. – С.102–108.

**Мохов А.В.** Учет синергетических эффектов при прогнозировании обводнённости очистных выработок угольных шахт / Основные направл. науч.-техн. прогресса при поисках и разведке твёрд. горюч. полезн.

ископаем.: Тез. докл. VIII Всесоюз. Угольн. совещ., 1986г. – Ростов н/Д, 1986. – Ч.2. – С.348.

Зайцев А.С., **Мохов А.В.** Эффекты самоорганизации при сдвиге-нии и деформациях породных толщ на участках подземных разработок // Гидрогеолог. и инж. геология: ЭИ. Отеч.произв.опыт/ВИЭМС.– М.,1987. – Вып.8. – 10с.

**Мохов А.В.** Измерение скорости распространения водопроводящих трещин сдвига в разрезе подработанной толщи // Уголь Украины. – 1988. – № 2. – С.39-40.

**Мохов А.В.** Определение высоты зоны водопроводящих трещин на каменноугольных месторождениях в природных условиях // Гидрогеолог. и инж. геология: Обзор ВИЭМС. – М. – 1988. – Вып. 2. – 27с.

**Мохов А.В.** Трещинная проницаемость деформированных сдвижением толщ осадочных горных пород / Проблемы инж. геологии, гидрогеол. и геокриол. районов интенс. инж. нагрузки и охрана геол. среды: Тез. докл. I Всесоюз. съезда инж.-геол. и геокриол., г. Киев, 10-14 окт. 1988г. – Киев: Наукова думка, 1989. – Ч.3. – С.163-165.

**Мохов А.В.** Закономерная изменчивость толщ скальных пород на участках подземных разработок как основа геоэкологических прогнозов / Ресурсы, качество, комплексное использование углей. Экология: Тез. докл. IX Всесоюз. геол. угольн. совещ., 1991. – г. Ростов н/Д, 1991. – Ч.2. – С.155–157.

**Мохов А.В.** Гидродинамический режим подземных вод на участках разработки каменноугольных месторождений подземным способом / Геология угольных месторождений: Межвуз. науч. тематический сб. – Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. горн.-геол. акад. – 1998. – Вып. 8. – С.270–276.

**Мохов А.В.** Информационный резерв повышения качества гидрогеологических разведочных работ на уголь / Геология угольных месторождений: Межвуз. науч. тематич. сб. – Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. горн.-геол. акад. – 1999. – Вып. 9. – С.388-393.

**Мохов А.В.** Прогнозирование выделений «мёртвого» воздуха и подтопления земной поверхности на участках ликвидации угольных шахт «мокрым» способом / Эколог. проблемы угледоб. отрасли в регионе при переходе к устойч. развитию: Тр. Межд. науч.-практ. конф. – 1999г. – Кемерово, 1999. – С.163-168.

**Мохов А.В.** О некоторых свойствах зон водопроводящих трещин сдвига в условиях каменноугольных месторождений / Гидрогеология на рубеже веков: Межвуз. сб. – Новочеркасск: Набл. – 2001. – С.77-90.

**Мохов А.В.** Некоторые аспекты использования априорной информации при оценках гидрогеологических условий и последствий освоения каменноугольных месторождений подземным способом / Ресурсн. потенциал твёрдых горючих ископаем. на рубеже XXI века: Тр. X Всерос. угольн. совещ. /ВНИГРИуголь, Акад. Горн. наук., Ростов н/Д: ВНИГРИ-уголь. — 2001. — С.184-186.

**Мохов А.В.** О путях профилактики прорывов воды из затопленных каменноугольных шахт / В сб.: VII Межд. конференции «Новые идеи в науках о Земле»: Материалы докладов. Том 4. МГРА. — М., 2005. — С.136.

**Мохов А.В.** Трансформация геологической среды / В кн.: Проблемы и перспективы комплексного освоения минеральных ресурсов Восточного Донбасса. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН. — 2005. — С.147-155.

**Мохов А.В.** Оценка опасности и предотвращение прорывов воды в горные выработки из затопленных каменноугольных шахт /Межд. науч. школа «Моделир. и Анализ Безопасн. и Риска в Сложн.Системах»/ СПб.:ГУАП. —2007. —С.474-477.

**Мохов А.В.** Формирование пустотного пространства горных отводов затопленных каменноугольных шахт: основные факторы и гидродинамические последствия / Вопросы геологии и освоения недр юга России: Сб. научн. статей. Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН. — 2007. — С. 218-223.

**Мохов А.В.** Использование априорной информации при оценке экологогидрогеологических условий и последствий освоения каменноугольных месторождений подземным способом / Тезисы докладов XII Всерос. угольн. совещания, 2010г., Ростов-на-Дону. Ростов-на-Дону: ВНИГРИуголь. — 2010. — С.232-236.

**Mokhov A.V.** Water permeability of rock mass inside of zone of water-conducting subsidence cracks at the deposits of stone coals // Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft fur Geowissenschaften. Heft 68,2010.p.397.

**Мохов А.В.** О трансформации напряженно-деформированного состояния горного массива под влиянием затопления каменноугольных шахт / IV Міжн. Наук.-тех. Конф. «Гірнична геологія, геомеханіка та маркшейдерія», присвячена 95-річчю Національної академії наук України. 4th International Science and Technology Conference «Rock Geology. Geomechanics and Mine Surveying 15-16 жовтня 2013 р. УкрНДМІ, Донецьк, Україна Збірник наукових праць № 13 (частина I) Transactions Vol. 13 (Part I). Донецьк, 2013, с.238-248.

*Руководящие документы, монографии*

Инструкция по изучению и прогнозированию гидрогеологических условий угольных месторождений при геологоразведочных работах / МингеоСССР, Минуглепром СССР, ГКЗ СССР). Зарубинский Я.И., Панасенко Г.П., ... **Мохов А.В.** и др. Ростов н/Д. — 1985. — 137с.

Руководство по определению и прогнозу газоносности вмещающих пород угольных месторождений при геологоразведочных работах РД / МингеоСССР, ВНИГРИуголь.- Колесник В.Я., Смирнов Б.В., Карасев Г.К., Белоконов В.Г., Брижанев А.М., ... **Мохов А.В.** и др. — М.: Недра. — 1987. — 161с.

Методика определения газоносности вмещающих пород угольных месторождений при геологоразведочных работах /МингеоСССР, ВНИГРИуголь.- Колесник В.Я., Смирнов Б.В., Карасев Г.К., Белоконов В.Г., Брижанев А.М., ... **Мохов А.В.** и др. М.: Недра, 1988.-110с.

Экологический мониторинг ликвидации неперспективных шахт Восточного Донбасса / Айрапетьян М.А., Белоконева Г.И., Глянько Г.Д.,... **Мохов А.В.** и др. — Шахты: Изд-во Юж.-Рос. отд. Акад. горн, наук РФ, 2001. — 182с.

Гавришин А.И., Корadini А., **Мохов А.В.**, Бондарева Л.И. Формирование химического состава шахтных вод в Восточном Донбассе /Новочеркасск: Изд-во УПЦ «Набла» ЮРГТУ(НПИ), 2003. — 188с.