



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет»



«Комплексный прогноз опасных явлений на основе геодинамического районирования и искусственных нейронных сетей.

Руководство по геодинамическому районированию»

Попов Антон Леонидович

*кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории геодинамики
Санкт-Петербургского горного университета*

Шабаров Аркадий Николаевич

*доктор технических наук, Директор Научного центра геомеханики и проблем горного производства
Санкт-Петербургского горного университета*



Актуальные задачи



На сегодняшний день **регламентирующие нормативные документы не предусматривают четких инструкций по геодинамическому районированию**, которыми могли бы в полном объеме пользоваться на добывающих предприятиях. Кроме того, **ситуация осложняется** сложившейся в последнее время **тенденцией по увеличению глубины разработки угольных пластов** сложного геологического строения с неравномерным пространственным изменением мощности и прочности угля, а также влиянием ряда дополнительных факторов, представляющих повышенную опасность. В такой ситуации особенно остро встает **вопрос своевременного прогнозирования и локализации геодинамически опасных зон** и принятия мер по обеспечению безопасного ведения горных работ в них.

Сложившаяся практика геодинамического районирования, заключается в применении следующих методов выделения напряженных зон: морфоструктурный анализ, линеаментный анализ, численное моделирование НДС массива. **При совместном использовании нескольких методов**, результаты каждого из них зачастую **не увязываются** между собой для обобщения и приведения в единую структуру, в связи с отсутствием взаимодействия различных подразделений.

Предлагаемый в данной статье подход исследований– это совокупность различных методов, таких как анализ взаимодействия тектонических структур, уточнение и актуализация физико-механических и фазово-физических свойств пород и угля, численное моделирование напряженно-деформированного состояния с учетом блочного горного массива, натурные наблюдения и шахтные эксперименты в различных горно-геологических условиях.



Методология



Методология выполнения геодинамического районирования согласно разработанной комплексной методике сводится к следующему порядку действий:

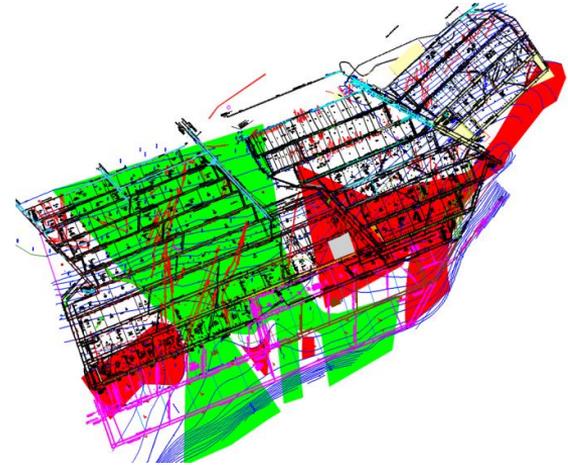
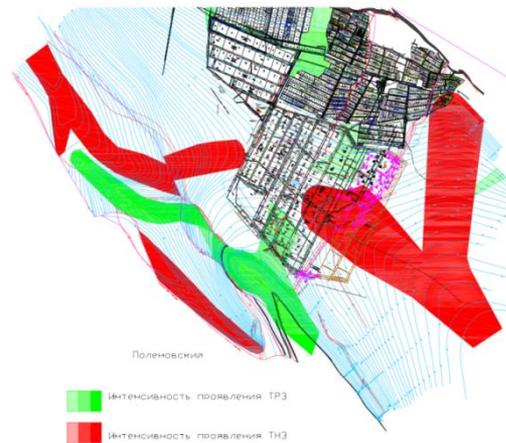
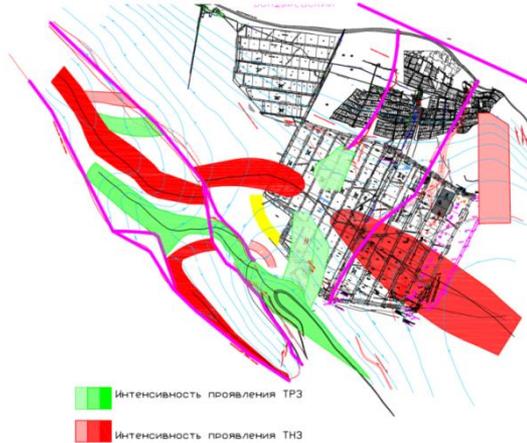
1. Сбор и изучение фондовых геологических, геофизических, геохимических и картографических материалов по району работ.
2. Предварительное построение карты тектонических нарушений по результатам имеющихся материалов.
3. Геодинамическое районирование территории и выделение блочной структуры на основе линеamentного и морфоструктурного анализа земной поверхности по космоснимкам и топографическим картам различного масштаба.
4. Выделение потенциально активных разломов и ТНЗ.
5. Построение структурно-геологической 3D модели шахтного поля.
 - 5.1. Подготовка каркаса структурно-геологической 3D модели шахтного поля.
 - 5.2. Подготовка каркаса гидрогеологической модели шахтного поля.
 - 5.3. Построение структурно-геологической 3D модели шахтного поля.
6. Построение геодинамической модели шахтного поля шахты.
 - 6.1. Составление региональной математической модели. Проведение расчетов НДС горного массива для шахты.
 - 6.2. Составление локальной математической модели подготавливаемого к выемке участка шахтного поля.
 - 6.3. Проведение расчетов НДС горного массива на подготавливаемом к выемке участка шахтного поля.
7. Прогноз геодинамической и геомеханической ситуации на подготавливаемых к выемке участках шахтного поля в ходе отработки.
 - 7.1. Локализация зон ТНЗ и ТРЗ, формирование ГОЗ.
 - 7.2. Оценка реальной удароопасности угольных пластов в пределах выемочных блоков.
 - 7.3. Оценка геодинамических рисков комплексным методом с использованием возможностей нейросетей (зон повышенной газоотдачи, вывалов, прорывов воды и т.д.).
 - 7.4. Вынесение зон риска на планы горных работ.



Геодинамическое районирование



Шахты Кузнецкого угольного бассейна



Тектоника и трещиноватость вмещающих пород в пределах шахтного поля имеет свои особенности. Разрывная тектоника приурочена к основным складчатым структурам шахтного поля. Элементы мелких разрывов совпадают с элементами нормально-секущих или диагональных трещин. При проходке горных выработок наблюдаются серии однотипных мелких разрывов, которые нарушают целостность массива и при обнажении легко обрушаются.

Нормально-секущая трещиноватость, представлена двумя взаимно перпендикулярными системами трещин с шагом от 7 до 10 трещин на метр.

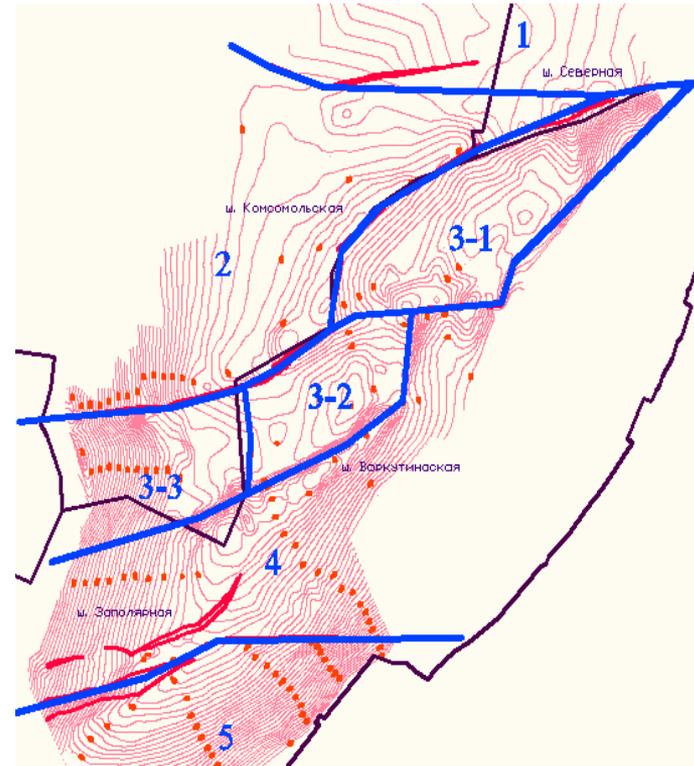
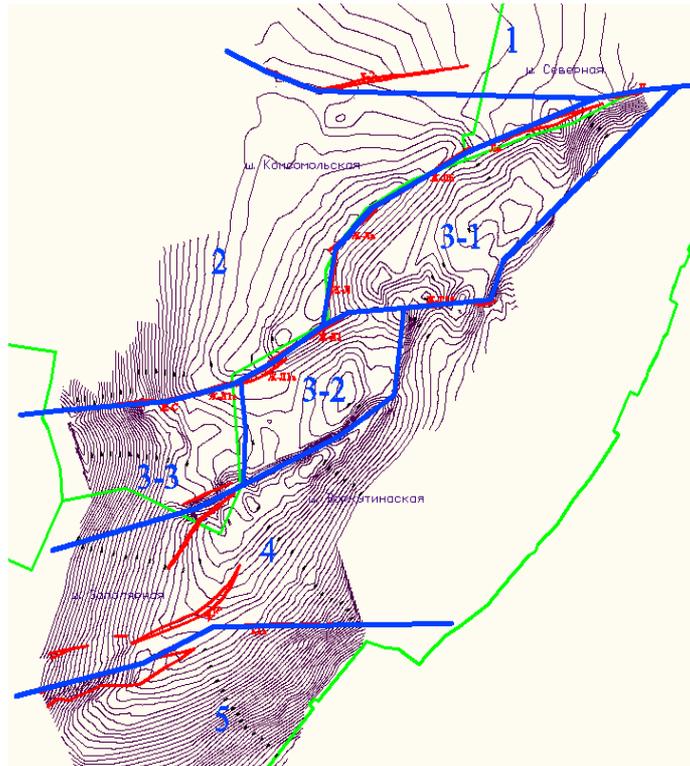
Горно-технические условия района месторождения, наряду с озвученными ранее осложняющими факторами, характеризуется сложной гипсометрией угольных пластов обусловленной наличием большого числа мелких складок и разломов.



Геодинамическое районирование



Воркутское угольное месторождение





Трехмерное моделирование



В построении геолого-структурной модели месторождения была задействована вся геологическая информация, имеющаяся на сегодняшний день – геологические разрезы, геологические карты, тектонические схемы, данные кернового бурения, геофизических исследований, зарисовки горных выработок.

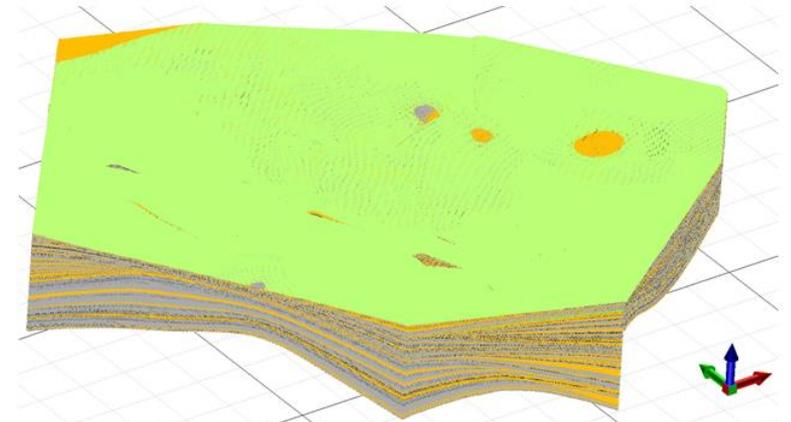
В рамках создания модели выполнен комплекс работ по формированию единой базы данных геологоразведочных скважин, пробуренных в пределах горного отвода шахтных полей.

В настоящий момент модель включает в себя полный геологический разрез.

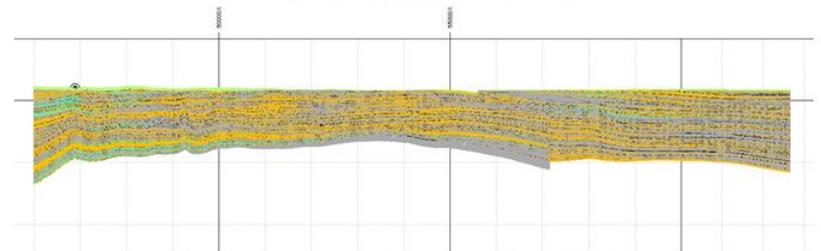
По факту выполнения геодинамического районирования и геолого-структурного моделирования Ленинского месторождения установлено, что к структурам первого ранга, определяющим позицию месторождения в геодинамическом поле региона относятся Кильчигизский; Журинский; Иганинский; Каменский взбросы.

Нарушения второго порядка представлены Заинским, Западно-Камышанским и Восточно-Камышанским взбросами. Эти нарушения оказывают непосредственное влияние на геодинамическую ситуацию в пределах шахтных полей и в значительной мере осложняют горно-геологические условия ведения горных работ.

Нарушения третьего порядка проявлены в осевой части синклинали, являющейся отражением глубинного нарушения. Пликативная структура осложнена дополнительной складчатостью более низких порядков. Наиболее распространены в пределах района поперечные пологие волны, осложняющие крылья и замки основных складок.



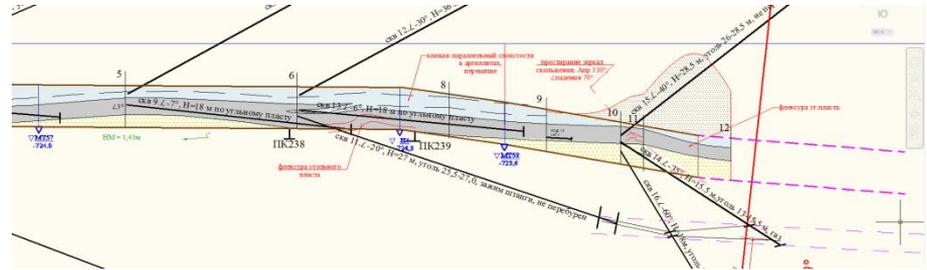
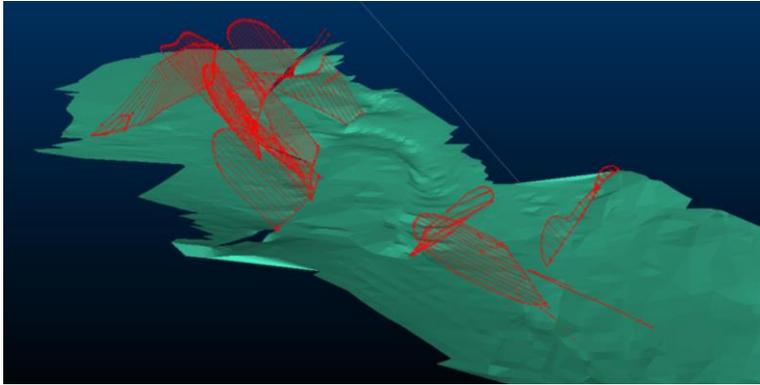
Общий вид модели шахтного поля шахты им. С.М. Кирова. Вид с Северо-Запада. Черным цветом на рисунке представлены угольные пласты.



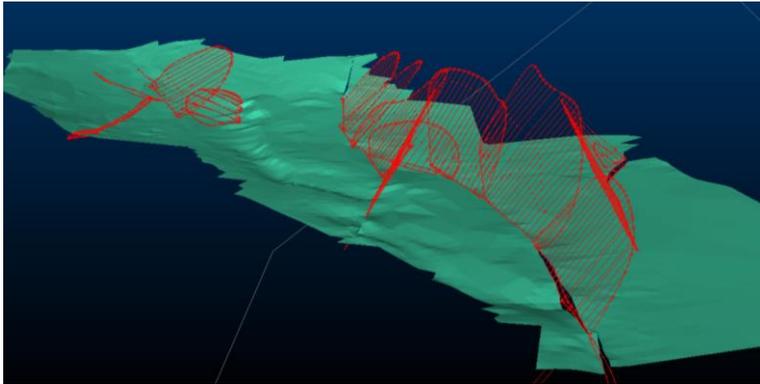
Разрез вдоль оси Ленинской синклинали. Вид с Юго-Запада.



Трехмерное моделирование



развитие зоны влияния разрывного нарушения К1 в ходе проходки вскрывающих его горных выработок (фрагмент документации выработки КШ-623ю пласта Четвертого, предоставленный главным геологом шахты Заполярная)



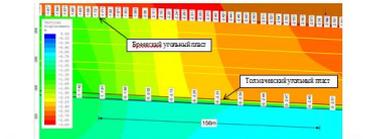
- Интенсивность и площадь проявления настоящих изменений зависит от масштабов проявления дизъюнктива. Достоверно данная зона может быть подтверждена только фактом вскрытия. В качестве горизонтальных границ ТНЗ стоит принимать результаты математического моделирования.
- Вертикальная граница ТНЗ обусловлена нулевым контуром затухания амплитуды смещения по разрывному нарушению. Факт выклинивания подтверждается данными моделирования, разведочного бурения и проходки горных выработок. Нулевые контура в настоящий момент установлены для всех подтвержденных разрывных нарушений.



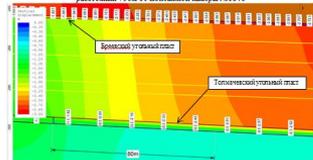
Создание геодинамической модели шахтного поля



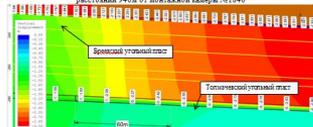
Выполнение расчетов НДС породного массива для шахты Комсомолец



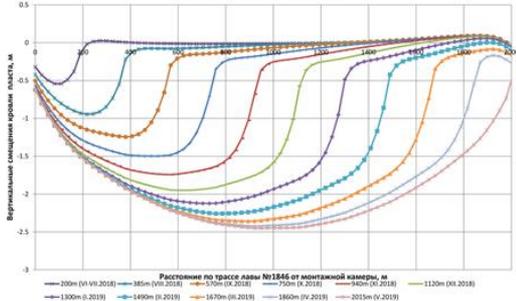
Изохроны абсолютных вертикальных сдвиговых кривых углового участка по трассе лавы № 1846 на расстоянии 100м от монтажной камеры №1846



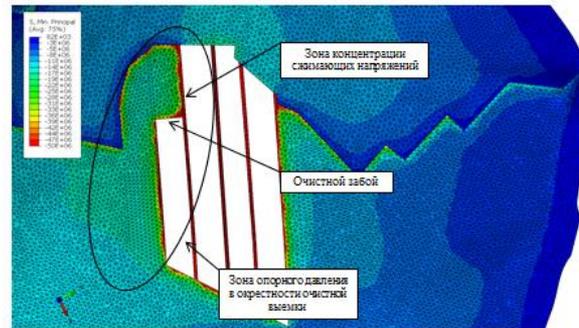
Изохроны абсолютных вертикальных сдвиговых кривых углового участка по трассе лавы № 1846 на расстоянии 50м от монтажной камеры №1846



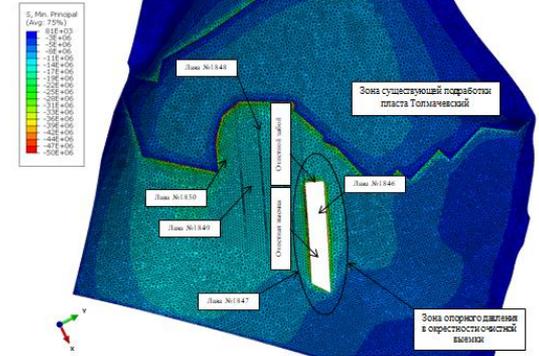
Изохроны абсолютных вертикальных сдвиговых кривых углового участка по трассе лавы № 1846 на расстоянии 150м от монтажной камеры №1846



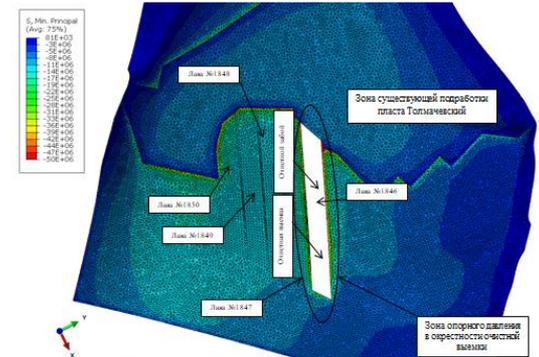
Изохроны распределения максимальных напряжений в породном массиве (лава №1846, этап 1, 700 м от монтажной камеры)



Изохроны распределения максимальных напряжений в породном массиве (лава №1848, на момент полной отработки, лавы №1849, 2 этап отработки)



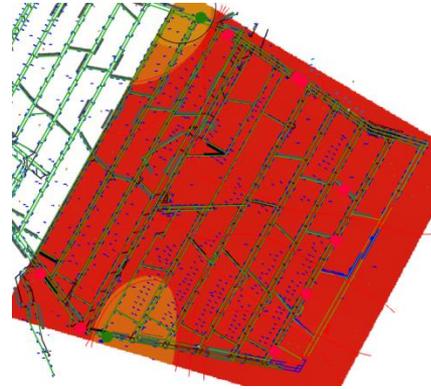
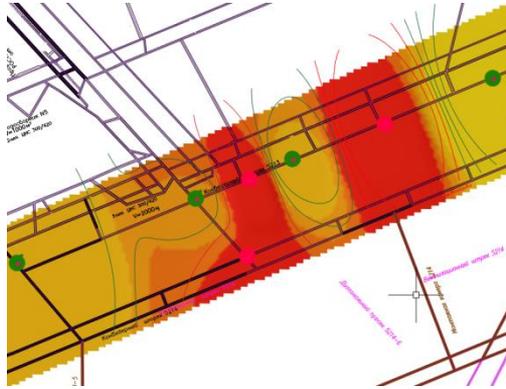
Изохроны распределения максимальных напряжений в породном массиве (лава №1846, этап 2, 1300 м от монтажной камеры)



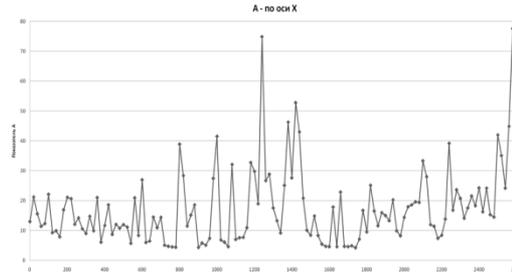
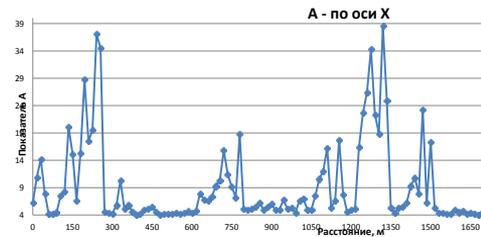
Изохроны распределения максимальных напряжений в породном массиве (лава №1846, этап 3, ~2000 м от монтажной камеры)



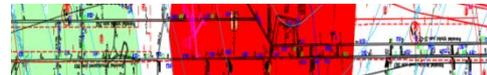
Прогноз геодинамической и геомеханической ситуации на основании экспериментальных шахтных исследований



**Прогнозные карты
удароопасности на
основании ФФС угля**



**Локализация и
корректировка границ ГОЗ
с использованием прибора
Ангел-М**





Прогноз геодинамической и геомеханической ситуации на участках шахтного поля



Вероятность возникновения опасных явлений

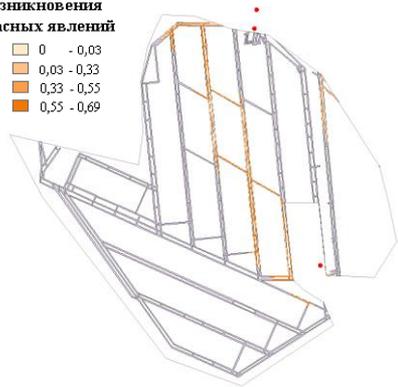
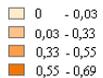
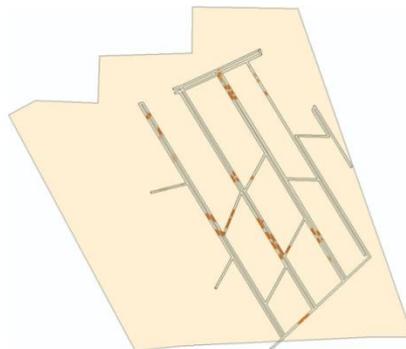


Схема расположения зон возникновения опасных явлений в существующих подготовительных выработках Толмачевского пласта шахты "Комсомолец"

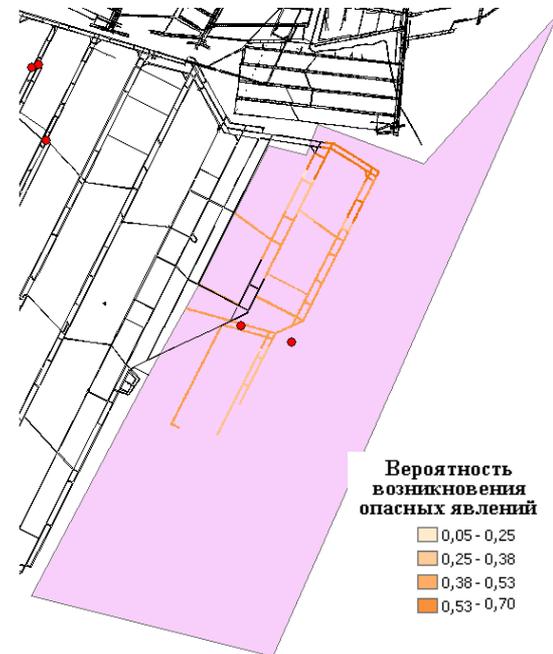


Схема расположения возможных зон возникновения опасных явлений в существующих подготовительных выработках пласта 52 и 50 шахты им. В.П. Ялевского

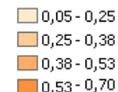


Подготовительные выработки Места возможных опасных явлений

Схема расположения возможных зон возникновения опасных явлений в существующих подготовительных выработках Поленовского пласта шахты им. Кирова



Вероятность возникновения опасных явлений



Опасные явления, ожидаемые маркшейдерской службой

Подготовительные выработки Места возможных опасных явлений



Прогноз геодинамической и геомеханической ситуации на участках шахтного поля



Рекомендации в паспорте выемочного участка.

- В материалах горно-геологического прогноза для составления паспорта выемочного участка, проведения и крепления подземных выработок должна содержаться информация о границах и характере проявления опасных зон.
- Порядок и контроль безопасного ведения горных работ в ГОЗ как в опасных зонах и комплекс профилактических мероприятий целесообразно выдерживать по аналогии с опасными зонами, представленными участками геологических нарушений и зонами под водными объектами.
- При составлении проекта ведения горных работ в опасных зонах: технологическая служба разрабатывает технологию и очередность ведения горных работ, мероприятия по безопасному ведению горных работ, составляет паспорта крепления выработок. В состав проекта по ведению горных работ в ГОЗ рекомендуется включать следующие мероприятия.
- В зоне опасного влияния водного объекта и обводненных участков, в пределах которой ведение горных работ может повлечь за собой недопустимое для шахты увеличение притока воды в горные выработки, а в отдельных случаях - прорыв воды из затопленных выработок особое значение имеют мероприятия по управлению движением шахтных вод в горных выработках при подходе лавы к границе ГОЗ, формирующейся в ТРЗ. Также целесообразно в паспорте выемочного участка предусмотреть проходку специальных дренажных выработок.
- На газоносных пластах проводить в ГОЗ полный цикл обследования газообильности и выбросоопасности в соответствии с Руководством по безопасности «Рекомендации по безопасному ведению горных работ на склонах к динамическим явлениям угольных пластов».
- При предварительной отработке нижележащих пластов на расстояниях до 200 метров от отрабатываемого пласта целесообразно предусмотреть проведение дегазации выработанного пространства нижележащего пласта.
- С целью минимизации условий для формирования ГОЗ соблюдать по возможности постоянную скорость движения лавы в ТРЗ и ТНЗ, и, главное, остановок лавы при входе и выходе из этих зон.
- В случае прогноза осыпания угля из забоя лавы и пород кровли на участках ТРЗ предусмотреть в паспорте меры по укреплению с помощью строительной пены по всей длине лавы.
- Границы ГОЗ должны быть нанесены на планы горных выработок.
- Также необходимо принимать во внимание при выборе анкерной крепи горных выработок, проходящих через ТРЗ то, что выработка в процессе очистных работ будет эксплуатироваться в специфических и особо сложных условиях формирования ГОЗ с повышенными (в ТНЗ) или пониженными (в ТРЗ) тектоническими напряжениями.
- На участках ГОЗ целесообразно дополнительно проводить работы по определению состояния пород кровли с применением приборов «ОС» или «ЗОНД» и по определению прочностных свойств пород с применением прибора «Викинг» или другими приборами аналогичного назначения, прошедших в установленном порядке регистрацию в центре стандартизации и метрологии.
- В ТНЗ и ТРЗ необходимо уточнять склонность пласта к горным ударам по результатам исследования фазово- физические свойства (ФФС) угля.
- Для прогноза удароопасности угольных пластов и уточнения границ ГОЗ предусмотреть в паспорте геофизические экспресс-методы с применением прибора «Ангел-М».



Состав проекта «Руководства по геодинамическому районированию»



Геодинамическое районирование:

- Выявление блочной структуры горного массива
- Выявление границ тектонических блоков по космо- и аэрофотоснимкам
- Геодинамическое районирование территории методом структурной морфометрии
- Сопоставление границ тектонических блоков с геологическими, геофизическими и геохимическими данными района

Создание трехмерной геолого-структурной модели:

- Создание базы геологических и геофизических данных.
- Создание каркаса геолого-структурной модели
- Построение структурно-геологической 3D модели шахтного поля

Построение геодинамической модели шахтного поля:

- Разработка региональной численной модели. Выполнение расчетов НДС породного массива
- Оценка и анализ НДС массива на подготавливаемом участке шахтного поля.

Прогноз геодинамической и геомеханической ситуации на подготавливаемых к выемке участках шахтного поля:

- Формирования ГОЗ при ведении горных работ в ТНЗ и ТРЗ от геологических нарушений
- Оценка реальной удароопасности угольных пластов в пределах выемочных блоков:
 - Проведению измерений напряженного состояния горных пород геофизическим методом
 - Проведения исследований по определению склонности пластов к горным ударам на основе фазово-физических свойствах угля
- Оценка геодинамических рисков с использованием возможностей нейронных сетей
- Выделение зон риска на планах горных работ



Заключение



По результатам применения комплексного подхода к геодинамическому районированию установлена его высокая эффективность при разработке угольных месторождений сложных по горно-геологическим условиям, первые удовлетворительные данные были получены при использовании морфоструктурного анализа гипсометрии угольных пластов и замеров магнитной оставляющей переменного электромагнитного поля, более точный прогноз параметров потенциально опасных зон осуществлен с привлечением численного моделирования НДС углепородного массива и искусственных нейронных сетей.

Разработанная методика геодинамического районирования позволила выявить и локализовать опасные зоны в пределах шахтных полей, где ведутся проходческие и добычные работы. В данный момент для дальнейшего обеспечения безопасного ведения горных работ, выполняется сопровождение процесса отработки.



Спасибо за внимание