

ДОНЕЦКАЯ НАРОДНАЯ РЕСПУБЛИКА
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ

ГОУ ВПО
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФГБОУ ВО
«ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАРАГАНДИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ГОУ ВПО ЛНР
«ДОНБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Горный факультет
Кафедра «Разработка месторождений полезных ископаемых»

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ
кафедры разработки месторождений полезных ископаемых

№4 (2018)

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

**по материалам международной научно-практической
конференции молодых ученых, аспирантов и студентов**

г. Донецк, 24 мая 2018 г.

ДОНЕЦК
2018

УДК 622.001.76 (082)

И 66

Инновационные технологии разработки месторождений полезных ископаемых: сб. науч. труд. Вып. 4. / редкол.: Н.Н. Касьян [и др.]. – Донецк: ДОННТУ, 2018. – 226 с.

Представлены материалы научно-исследовательских работ студентов, аспирантов и молодых ученых, которые обсуждались на международной научно-практической конференции «Инновационные технологии разработки месторождений полезных ископаемых» в рамках проведения IV-го международного научного форума «Инновационные перспективы Донбасса: инфраструктурное и социально-экономическое развитие» Донецкой Народной Республики. Представленные материалы отражают широкий диапазон научных исследований по актуальным проблемам в области геотехнологии, геомеханики, геоинформатики и экологии при разработке месторождений полезных ископаемых.

Сборник предназначен для научных и инженерно-технических работников угольной промышленности, ученых, преподавателей, аспирантов и студентов горных специальностей.

Организатор конференции – кафедра «Разработка месторождений полезных ископаемых» (РМПИ) Горного факультета ГОУ ВПО «ДОННТУ».

Соорганизаторы конференции:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет» (г. Тула, РФ);

Карагандинский государственный технический университет (г. Караганда, Республика Казахстан);

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Луганской Народной Республики «Донбасский государственный технический университет» (г. Алчевск, ЛНР).

Организационный комитет:

Касьян Николай Николаевич – председатель конференции, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой РМПИ;

Новиков Александр Олегович – зам. председателя конференции, д-р техн. наук, профессор кафедры РМПИ;

Касьяненко Андрей Леонидович – секретарь конференции, канд. техн. наук, доцент кафедры РМПИ.

Конференция проведена на базе Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Донецкий национальный технический университет» (г. Донецк) 24 мая 2018 г.

Члены организационного комитета:

Петренко Юрий Анатольевич – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры РМПИ;

Стрельников Вадим Иванович – канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры РМПИ;

Шестопалов Иван Николаевич – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры РМПИ.

Редакционная коллегия:

Касьян Н. Н. – д-р техн. наук, проф., зав. кафедры разработки месторождений полезных ископаемых ГОУ ВПО «ДОННТУ»;

Новиков А. О. – д-р техн. наук, проф., профессор кафедры разработки месторождений полезных ископаемых ГОУ ВПО «ДОННТУ»;

Петренко Ю. А. – д-р техн. наук, проф., профессор кафедры разработки месторождений полезных ископаемых ГОУ ВПО «ДОННТУ»;

Саммаль А. С. – д-р техн. наук, проф., профессор кафедры механики материалов ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»;

Хуанган Нурбол – доктор Ph.D., заведующий кафедрой промышленного транспорта Карагандинского государственного технического университета;

Леонов А. А. – канд. техн. наук, доц., доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых ГОУ ВПО ЛНР «Донбасский государственный технический университет»;

Стрельников В.И. – канд. техн. наук, проф., профессор кафедры разработки месторождений полезных ископаемых ГОУ ВПО «ДОННТУ»;

Касьяненко А. Л. – канд. техн. наук, доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых ГОУ ВПО «ДОННТУ».

Компьютерная верстка: Моисеенко Л.Н., ведущий инженер кафедры разработки месторождений полезных ископаемых ГОУ ВПО «ДОННТУ».

Статьи публикуются в авторской редакции, ответственность за научное качество материала возлагается на авторов.

Контактный адрес:

Донецкая Народная Республика, г. Донецк, ул. Артема, 58, Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донецкий национальный технический университет», 9-й учебный корпус, Горный факультет, кафедра «Разработка месторождений полезных ископаемых», каб. 9.505, тел.: +3(8062)300-2475, 301-0929, E-mail: rpm@mine.donntu.org, WWW: <http://krmpi.gf.donntu.org>

УДК 622.831.322:635

КОМПЛЕКС ФАКТОРОВ, ОКАЗЫВАЮЩИХ ВЛИЯНИЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ, ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

Радченко А.Г., Киселев Н.Н., Радченко А.А., Гетманец Л.В.*

Рассмотрен ряд глобальных, региональных, локальных и текущих факторов, оказывающих влияние на формирование газодинамической активности угольных пластов при проведении подготовительных выработок на шахтах Донбасса

Ключевые слова: глобальные и региональные факторы, локальные и текущие факторы, подготовительные выработки, суммарное газовыделение в шпуре, коэффициент выбросоопасности, волнообразное изменение, внезапные выбросы угля и газа

Знание основных закономерностей изменения напряженного состояния в недрах Земли и в частности в массиве горных пород позволяет: а) правильно оценивать состояние среды; б) разрабатывать надежные горно-геологические прогнозы при ведении горных работ; в) выбирать оптимальные технические решения, позволяющие увеличить надежность подземных сооружений; г) при ведении горных работ в сложных горно-геологических условиях снизить количество газодинамических явлений и уменьшить их последствия. Практикой ведения горных работ на шахтах и рудниках установлено, что в горном массиве наблюдаются большие вертикальные и горизонтальной напряжения. Геодинамические и геомеханические процессы оказывают существенное влияние на перераспределение напряженного состояния в горных породах и угольных пластах. Поэтому, целью настоящей работы является рассмотрение комплекса факторов, оказывающих влияние на формирование газодинамической активности угольных пластов, при проведении подготовительных выработок на шахтах Донбасса.

* **Радченко А.Г.** – горный инженер-маркшейдер отдела эколого-геофизических исследований РАНИМИ

Киселев Н.Н. – начальник отдела геологии, к.т.н., ст. научный сотрудник

Гетманец Л.В. – зам. начальника отдела патентно-лицензионной, изобретательской работы и стандартизации

(Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (Министерство образования и науки ДНР, г. Донецк), andrei.agrov@yandex.ua)

Радченко А.А. – инженер-строитель, асс. кафедры металлоконструкций

(Донбасская национальная академия строительства и архитектуры (Министерство образования и науки ДНР, г. Макеевка)

Рассмотрим влияние глобальных (планетарных), региональных, локальных и текущих факторов на изменение напряженного состояния в горном массиве. Согласно работам Н. В. Короновского, источники напряжений в земной коре можно разделить условно на три группы:

1-я группа – это факторы, связанные с эндогенными, то есть внутренними, процессами, происходящими не только в земной коре, но также и в мантии Земли. Эти процессы генерируют как глобальное поле напряжений Земли, так и тектонические движения в земной коре;

2-я группа источников напряжений связана с экзогенными факторами, такими, например, как покровные оледенения, нагрузка искусственных водохранилищ, эрозионная деятельность рек, откачка нефти, газа, воды с глубин (первые километры). В формировании глобального поля напряжений эта группа факторов играет меньшую роль;

3-я группа факторов связана с космическими источниками, например с ротационными силами Земли или силами, возникающими при быстром, практически скачкообразном изменении скорости вращения планеты, а также с приливным воздействием Луны. Из всех перечисленных источников самый существенный вклад в общее поле напряжений вносят эндогенные процессы, которые и формируют поля напряжений разных рангов.

Следует отметить, что за последние десятилетия значительно изменились основные положения теории тектоники плит, которые можно сформулировать следующим образом. Верхняя часть твёрдой Земли делится на хрупкую литосферу и пластичную астеносферу. Конвекция в астеносфере – главная причина движения плит. Современная литосфера делится на 8 крупных плит, десятки средних плит и множество мелких. Мелкие плиты расположены в поясах между крупными плитами. Сейсмическая, тектоническая и магматическая активность сосредоточена на границах плит. Литосферные плиты в первом приближении описываются как твёрдые тела, и их движение подчиняется теореме вращения Эйлера. Существует три основных типа относительных перемещений плит: 1) расхождение (дивергенция), которое выражено рифтингом и спредингом; 2) схождение (конвергенция), выраженное субдукцией и коллизией; 3) сдвиговые перемещения по трансформным геологическим разломам. Перемещение литосферных плит вызвано их увлечением конвективными течениями в астеносфере.

В 2003 году была опубликована монография А. В. Викулина «Физика волнового сейсмического процесса», в которой в рамках представлений Пейве – Седова – Садовского о блоковой среде с собственным макромоментом предложена модель планетарного сейсмического процесса. В рамках данной модели дано количественное объяснение эффектам миграции очагов землетрясений, теоретически обосновывается существование

принципиально нового типа ротационных упругих волн в геофизических (блоковых, вращающихся) средах, которые ответственны за взаимодействие слагающих их блоков и тектонических плит. Вращение геоблоков подтверждено инструментальными геодезическими GPS наблюдениями [1]. Деформационные и маятниковые волны инструментально зарегистрированы в шахтах и смоделированы в лабораторных условиях [2]. Эти данные показывают, что характерными для блоковой вращающейся среды (геосреды) помимо продольных и поперечных сейсмических волн являются и ротационные «медленные» (солитоны) и «быстрые» (экситоны) волны. Вывод о существовании нового типа волн подтверждается теоретическими и экспериментальными данными, полученными в физике твердого тела [3], физической акустике [4] и материаловедении [5]. Таким образом, в своих работах А. В. Викулин в рамках развиваемой им ротационной геомеханики указывает на наличие взаимосвязи между нелинейностью геосреды и ее волновыми свойствами.

В работе [6] подробно изложен ряд положений о нелинейности геофизической среды. Академик М. А. Садовский в работе [6] подчеркивает, что важнейшими свойствами горного массива являются: неоднородность, дискретность, постоянное деформирование, постоянный приток механической энергии. В работе [6] рассмотрена дискретная, блочно-иерархическая модель геофизической среды. Постоянно деформируемая природная среда стремится к самоорганизации, сейсмичность недр в работе [6] рассматривается как самоорганизующийся процесс в окрестности критической точки. Далее в работе [6] подчеркивается автомодельность геофизической среды и указывается на необходимость интеграции наук о Земле. М. А. Садовский отмечает, что свойство автомодельности геофизических процессов необходимо использовать при изучении сейсмических, тектонических и других процессов, связанных с деформированием пород.

В качестве убедительного примера успешной интеграции наук о Земле рассмотрим кратко основные положения работы Э. Н. Халилова [7]. В работе [7] рассмотрено влияние сверхдлинных гравитационных волн на геодинамические процессы, происходящие в недрах Земли, в том числе на цикличность вулканической активности. Существование гравитационных волн было предсказано впервые в 1916 году Альбертом Эйнштейном. Монография [7] является фундаментальным научным трудом, в котором влияние гравитационных волн на геодинамику Земли рассматривается с позиций ряда наук: квантовая механика, физика атома, классическая физика, астрономия, астрофизика, геология, сейсмология, вулканология, геофизика, геодинамика и т. д. Прохождение гравитационной волны через Землю вызывает ее деформацию и изменение момента инерции, отражающегося

в вариациях ее угловой скорости вращения. В работе [7] выполнен сравнительный анализ вариаций гравитационной постоянной G с изменением длительности суток, а также проявлением сейсмической активности вулканов. Данные сейсмологии, геофизики, геологии подтвердили, что в зонах субдукции литосфера Земли подвергается гигантским напряжениям сжатия, которые вызывают землетрясения. В работе [7] показано, что наблюдаемые вариации значений гравитационной постоянной G носят волновой характер и с ними взаимосвязана сейсмическая активность мира, см. рис.1.

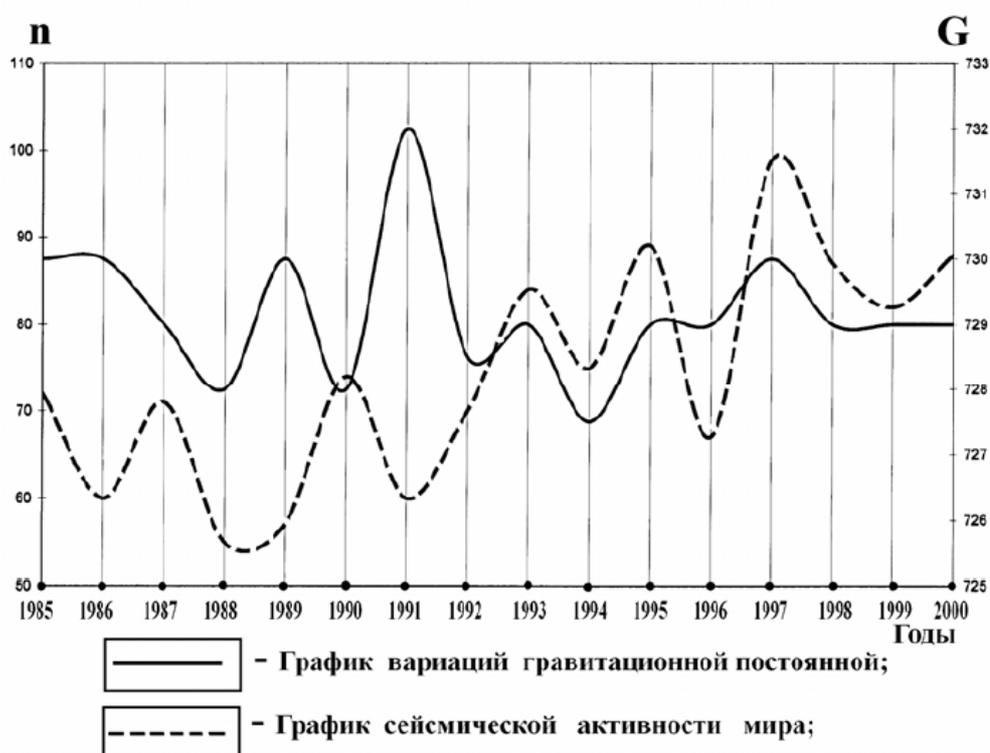


Рисунок 1 – Сравнение графиков вариаций измеренных значений гравитационной постоянной G и сейсмической активности мира с 1985 по 2000 годы. Ось G – значения G начиная со второй цифры после запятой; Ось n – усредненное число землетрясений с магнитудой $M > 5$ за год (по данным [7])

На рис. 2 дано сравнение графиков вариаций длительности земных суток и сейсмической активности Земли. На рис. 2 максимумы всех циклов сейсмической активности Земли, полностью совпали с максимумами вариаций длительности земных суток. В работе [7] указывается, что более 95 % всех использованных землетрясений с магнитудой $M \geq 5$, относятся к поясам сжатия Земли и, следовательно, отражают активизацию процессов сжатия. В то же время, квадрупольный характер влияния гравитационной волны предполагает одновременное расширение Земли, перпенди-

кулярно оси сжатия. Из рис. 2 следует, что периоды повышения сейсмической активности, отражают процессы сжатия Земли в одном направлении, в то время, как расширение происходит в противоположном направлении и не проявляется столь ярко в сейсмической активности поясов растяжения Земли в силу малочисленности и слабости землетрясений рифтовых зон. Изменяющийся при этом момент инерции, приводит к замедлению скорости вращения Земли (увеличению длительности суток), [7].

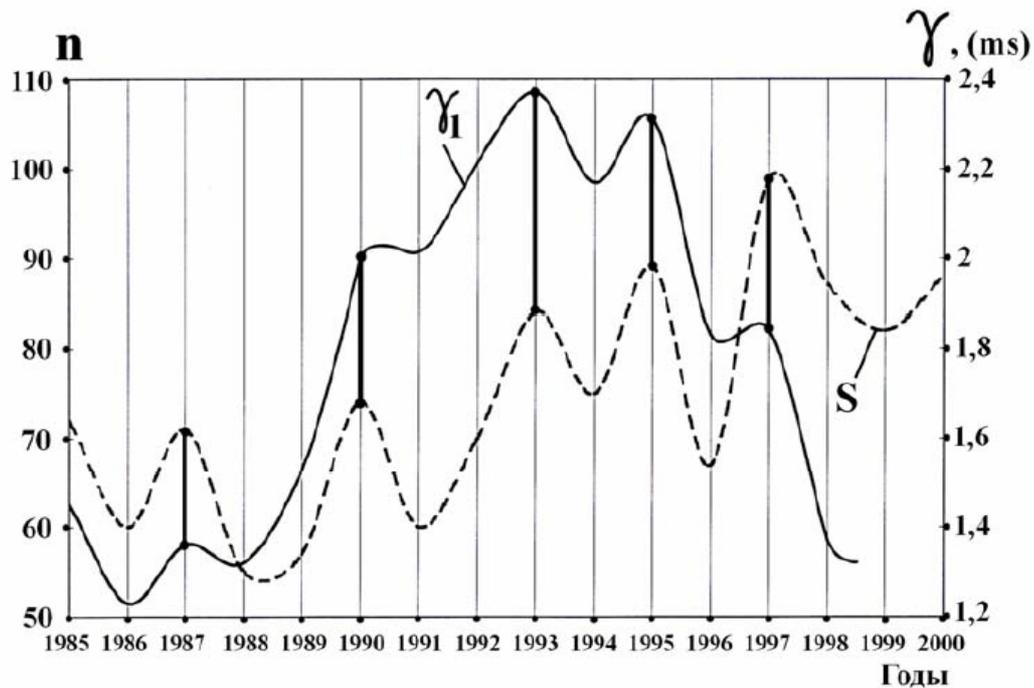


Рисунок 2 – Сравнение графиков вариаций длительности земных суток и сейсмической активности Земли. Ось n – усредненное за год число землетрясений с $M \geq 5$; Ось γ , (ms) – изменения длительности земных суток в ms; γ_1 – график вариаций длительности земных суток; S – график сейсмической активности Земли (по данным [7])

Таким образом, в работе [7] приведены доказательства того, что Землю и происходящие в недрах геологические процессы, необходимо рассматривать в тесной связи с космосом. В работе [7] выполнен анализ проявления цикличности в глобальных геодинамических процессах и показано, что проявления энергетики нашей планеты отражаются во всем многообразии геодинамики, начиная от горизонтальных движений литосферных плит и кончая периодическими вариациями радиуса и формы Земли.

В качестве одной из ключевых проблем геодинамики, физики очага землетрясений, горного дела и тектонофизики Ю. Л. Ребецкий рассматривает существование в земной коре континентов таких областей, в которых оси напряжений максимального сжатия действуют в субгоризонтальном

направлении. Эксперименты, выполненные Н. Хастом [Hast, 1969] в Скандинавии, Ирландии, Канаде, Замбии (Африка), показали, что верхние горизонты коры во многих случаях находятся в состоянии, когда горизонтальные сжимающие напряжения превосходят вертикальные напряжения, которые в свою очередь близки к весу столба горных пород на данной глубине. Превышение горизонтального сжатия над вертикальным может быть 5 – 10 кратное (на Хибинских рудниках такое превышение в некоторых случаях 20-ти кратное [Марков, 1977]). По данным Г. А. Маркова и И. Т. Айтматова в рудниках стран СНГ и в зарубежных рудниках на глубинах $H = 100 - 2000$ м наблюдается рост горизонтальных напряжений. Айтматов И. Т. в своих работах подчеркивает, что важными особенностями пространственного распределения режимов напряженного состояния являются их латеральная мозаичность и вертикальная периодичность [Айтматов И. Т., 2003]. Эксперименты [Rutter, Neumann, 1995] и расчеты [Стефанов, 2005, 2008] по сжатию образцов пород под давлением показывают, что в образцах участки компакци выстраиваются в узкие зоны, ортогональные оси максимального сжатия. При этом они прерывисто распределены по пространству образцов (см. рис. 3). Как видно из рис. 3 под действием сжимающих напряжений в породах формируются чередующиеся участки с различной степенью интенсивности сжатия.

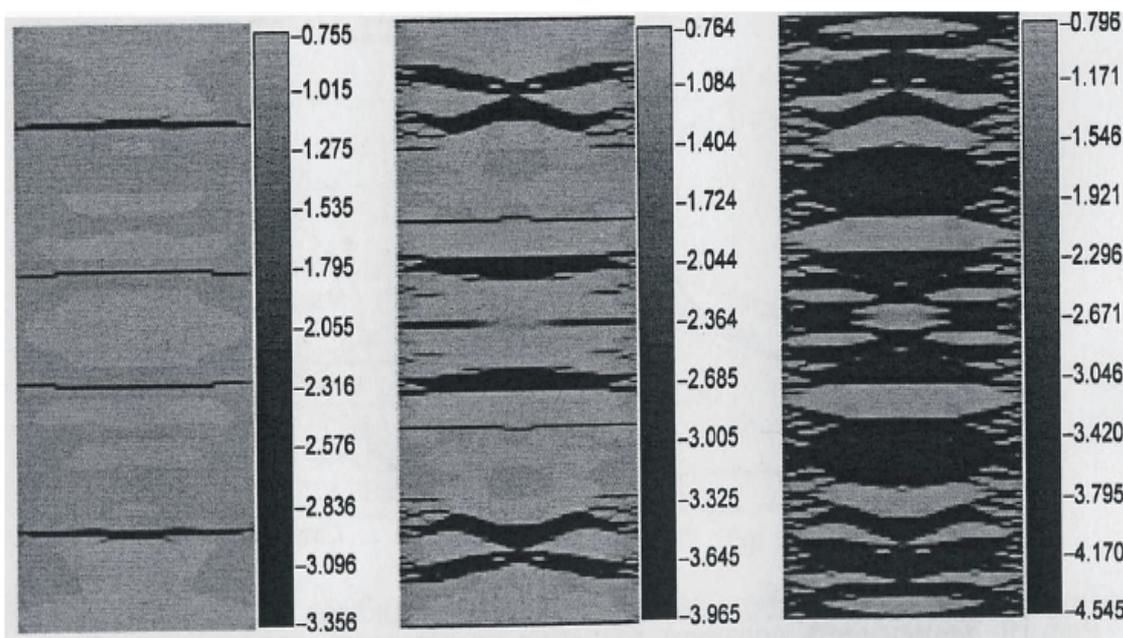


Рисунок 3 – Результаты модельных расчетов уплотнения горных пород под действием одноосного сжатия в стесненных условиях [Стефанов, 2005, 2008]. Более сильная интенсивность деформаций объемного сжатия (уплотнения) отвечает областям более интенсивного затемнения

Ю. Л. Ребецкий указывает на важность изучения изменений напряженного состояния горных пород при их вертикальных перемещениях в процессе осадконакопления и горообразования.

Рассмотрев влияние глобальных факторов на изменение напряжений в недрах Земли, теперь следует выполнить анализ влияния геодинамических, геологических и тектонических процессов на изменение напряжений в горном массиве на региональном уровне. В работах Т. Ю. Тверитиновой (2010г.) указывается на волнообразное чередование геологических и тектонических структур. В литосфере чередуются положительные и отрицательные структуры разных порядков, т.е. распределение структур подчиняется знакопеременному закону. Это свойство литосферы является универсальным и проявляется на уровнях от глобального до локального, а также в структурах разного возраста – от древнейших до современных [8]. Анализ пульсационной динамики Земли указывает на существование циклов разных порядков [Милановский Е. Е., 1995], [Тверитинова Т. Ю., 2010]. Вопросы закономерной смены во времени и пространстве полей напряжений рассмотрены в работах О. И. Гущенко [1979, 1999]. В работе [8] Т. Ю. Тверитинова указывает, что закономерное знакопеременное распределение разноранговых структур на поверхности Земли и в литосфере, т.е. «волноподобное» чередование в ней положительных и отрицательных структурных форм, с позиций волновой геодинамики может рассматриваться как результат волновых деформационных процессов. По мнению автора, это может относиться практически ко всему разнообразию положительных и отрицательных тектонических структур, возможно вплоть до одиночных складок. При таком подходе практически все структуры Земли (древние платформы, подвижные пояса и формирующиеся на их месте горноскладчатые области, щиты и плиты, антеклизы и синеклизы, антиклинории и синклинории, антиклинали и синклинали и т.д.), как особые, аномальные с разных точек зрения геологические объемы, являются примерами деформационных литосферных волн разного порядка [8]. Таким образом, все перечисленные структуры отражают изменение напряженно-деформированного состояния литосферы во времени и пространстве на разных структурных уровнях.

На региональном уровне в процессе осадконакопления происходит опускание участков земной коры, которое сопровождается различными тектоническими подвижками. Слои горных пород и угольные пласты испытывают погружение на различные глубины. С ростом глубины возрастает горное давление, давление газов и температура. В процессе катагенеза происходят структурно-химические изменения в слоях пород. В угольных пластах в процессе метаморфизма также происходят структурно-химические преобра-

зования в молекулярной и надмолекулярной организации угольного вещества. В зависимости от глубины погружения формируются угли различного марочного состава. На последующих геологических этапах при совместном воздействии ряда космологических и эндогенных факторов происходит поднятие угольных пластов до современных глубин их залегания. Под действием геодинамических процессов погружения, а затем поднятия угольных пластов, а также при воздействии различных многоциклических, многофазовых, разно направленных тектонических процессов происходили многократные, знакопеременные изменения напряженного состояния углепородного массива, как по площадям, так и по глубине, т.е. происходили многократные перераспределения внутренней упругой энергии недр.

Из выше сказанного следует, что роль геодинамических, геологических и тектонических процессов на региональном уровне сводится к перераспределению энергии в горном массиве. Совместное воздействие геодинамических, геологических и тектонических процессов приводит к усилению неоднородности, изменчивости свойств горного массива: усиливается неравномерность в распределении структурно-химических, физико-механических, газокинетических свойств углепородного массива, а также его напряженно-деформированного состояния, как по площадям, так и по глубине.

Угли различных марок имели разные палеоглубины погружения, различную убыль кислорода и различный процент выделившихся летучих продуктов [9]. Анализ работы [9] показал, что: а) процессы углефикации происходили нелинейно и характеризовались скачками углефикации; б) количество летучих продуктов, выделившихся на разных стадиях углефикации, характеризуется циклической волнообразной синусоидальной затухающей кривой с четырьмя убывающими максимумами (см. рис. 4). Геомеханические процессы, происходящие в горном массиве на пластах пологого падения, существенно отличаются от процессов, происходящих на пластах наклонного и крутого падений. Поэтому, анализ проявления выбросоопасности углей в ряду метаморфизма проводился отдельно для пластов пологого и отдельно для пластов наклонного, крутого падений. Всего было проанализировано 2442 внезапных выброса угля и газа.

По исходным данным работы [10] был выполнен статистический анализ внезапных выбросов угля и газа за период 1946 – 2006 гг., который показал, что на пластах пологого падения наблюдается три максимума в проявлении выбросоопасности: 1) $N_{в} = 161$ при $V^{daf} > 29,0\%$; 2) $N_{в} = 655$ при $V^{daf} = 18,0 \div 13,1\%$; 3) $N_{в} = 214$ при $V^{daf} \leq 9,0\%$. На пластах наклонного, крутого падений наблюдается два максимума в проявлении выбросоопас-

ности: 1) $N_{в} = 164$ при $V^{daf} > 29,0\%$; 2) $N_{в} = 335$ при $V^{daf} = 18,0 \div 13,1\%$; (табл. 1).

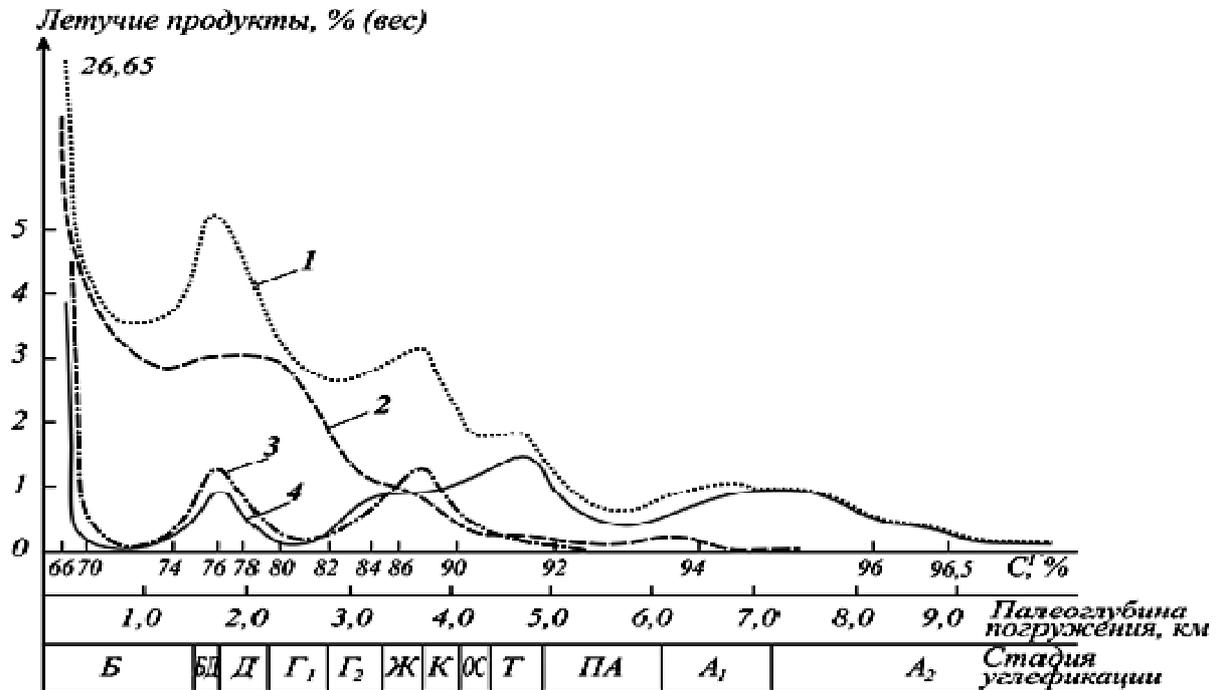


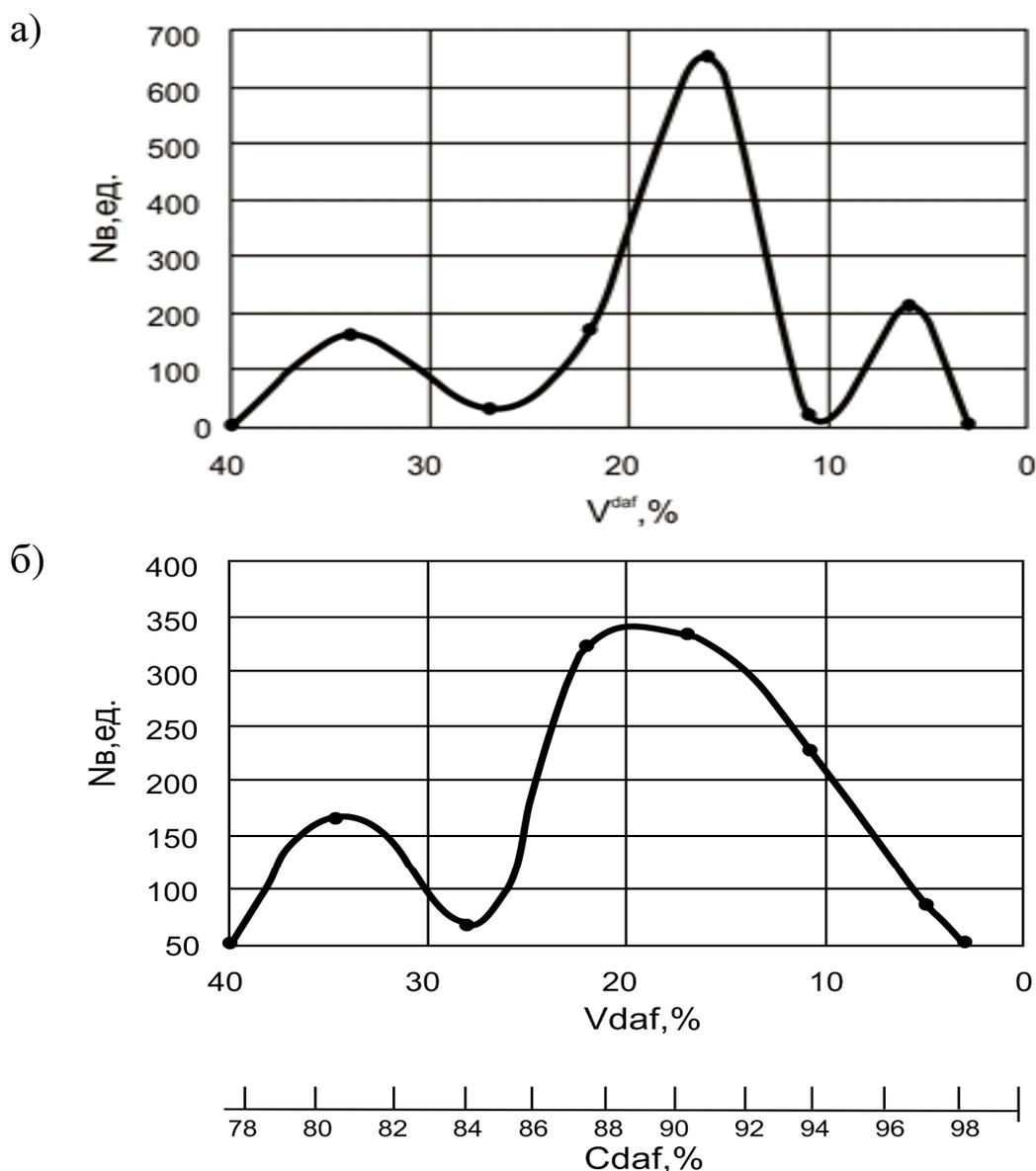
Рисунок 4 – Количество летучих продуктов, выделившихся на разных этапах углефикации, в % на органическое вещество конца торфяной стадии ($C = 58,97\%$). 1 – сумма летучих продуктов углефикации, в %; 2 – CO_2 ; 3 – H_2O ; 4 – CH_4 ; (по данным [9]).

Основные результаты анализа приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Количество внезапных выбросов по группам метаморфизма за период 1946 – 2006 гг.

Залегание пластов	$V^{daf} > 29,0\%$	$V^{daf} = 29,0 \div 25,1\%$	$V^{daf} = 25,0 \div 18,1\%$	$V^{daf} = 18,0 \div 13,1\%$	$V^{daf} = 13,0 \div 9,1\%$	$V^{daf} \leq 9,0\%$	Всего
1.Пологое	161	30	172	655	20	214	1252
2. Крутое и наклонное.	164	62	332	335	222	75	1190
3.Пологое, крутое и наклонное	325	92	504	990	242	289	2442

Суммарное количество выбросов, зафиксированных на пластах пологого, наклонного и крутого падений, в ряду углефикации изменяется также волнообразно и имеет три максимума в проявлении выбросоопасности: 1) $N_{\text{общ}} = 325$ при $V^{\text{daf}} > 29,0\%$; 2) $N_{\text{общ}} = 990$ при $V^{\text{daf}} = 18,0 \div 13,1\%$; 3) $N_{\text{общ}} = 289$ при $V^{\text{daf}} \leq 9,0\%$. Таким образом, наблюдается волнообразный, мультимодальный характер изменения числа внезапных выбросов в ряду метаморфизма. На рис.5 показано распределение выбросов согласно таблице 1.



а) на пластах пологого падения; б) на пластах наклонного и крутого падений

Рисунок 5 – Изменения количества внезапных выбросов угля и газа по группам метаморфизма за период 1946 – 2006 гг. на шахтах Донбасса

При анализе графиков, изображенных на рис. 4 и рис. 5 необходимо обратить внимание на следующие факты:

– количество летучих продуктов, выделившихся на разных этапах углефикации, в % на органическое вещество конца торфяной стадии ($C = 58,97\%$) изменяется нелинейно, уменьшается циклически, скачкообразно и имеет 4 убывающих по амплитуде максимума; это указывает на циклические изменения в структуре угольного вещества в процессе метаморфизма (скачки углефикации);

– пласты пологого падения существенно отличаются от пластов наклонного и крутого падений, так как на них практически отсутствует многократная надрработка и подработка, в меньшей степени они подвержены воздействию сил гравитации, которые вызывают обрушения угля, переходящее часто во внезапные выбросы угля и газа; поэтому статистическое распределение внезапных выбросов угля и газа на пластах пологого падения менее подвержено влиянию различных случайных факторов;

– первый максимум внезапных выбросов угля и газа на пологом падении (рис. 5,а) находится в диапазоне $V^{daf} = 37 - 33\%$ и совпадает с первым максимумом внезапных выбросов, произошедших на пластах наклонного и крутого падений (рис. 5,б);

– первый минимум внезапных выбросов угля и газа на пологом падении (рис. 5,а) находится в диапазоне $V^{daf} = 30 - 24\%$ и совпадает с первым минимумом внезапных выбросов, произошедших на пластах наклонного и крутого падений (рис. 5,б);

– второй максимум внезапных выбросов угля и газа на пологом падении (рис. 5а) находится в диапазоне $V^{daf} = 19 - 13\%$ и фактически совпадает со вторым максимумом внезапных выбросов, произошедших на пластах наклонного и крутого падений (рис. 5,б); следует отметить, что вторые максимумы внезапных выбросов угля и газа как на пологих, так и на пластах наклонного и крутого падений находятся в диапазоне $V^{daf} = 19 - 13\%$ или $C^{daf} = 92 - 90\%$ (рис.5) и совпадают со вторым максимумом метана, выделившегося на разных этапах углефикации (рис.4, график 4), а также совпадают с 3-м убывающим максимумом суммы летучих продуктов углефикации, в % (см. рис. 4, график 1).

Таким образом, анализ графиков на рис. 4 и рис. 5 показал, что выбороопасность угольных пластов Донбасса тесно связана со скачками углефикации, с изменениями структурно-химических свойств углей. Изменения структурно-химических свойств углей ряду метаморфизма и их влияние на физико-механические свойства углей, их напряженное состояние и газокинетические свойства более детально рассмотрены в работе [11].

На поля региональных неоднородностей распределения напряжений и газов накладываются неоднородности в распределении напряжений, газов локального и текущего уровней. Совместное воздействие геодинамических, геологических и тектонических процессов приводит к усилению степени неоднородности, степени изменчивости свойств и состояний горного массива, результатом синергетического воздействия является рост градиентов физико-механических, газокинетических свойств и напряженного состояния углеспородного массива по площадям и по глубине. На локальном и текущем уровнях частота внезапных выбросов угля и газа возрастает: а) в зонах повышенного горного давления (ПГД); б) в зонах горно-геологических нарушений (ГГН); в) в зонах аномально высоких пластовых давлений газов (АВПД). Зоны ПГД, ГГН, АВПД являются участками с явно выраженными повышенными градиентами изменения напряженного состояния, физико-механических и газокинетических свойств угольных пластов и вмещающих их пород.

На локальном и текущем уровнях тектонические процессы способствуют дальнейшему перераспределению энергии в горном массиве. Углеспородный массив характеризуется неоднородностью, иерархичностью дискретного и блочного строения. Выбросы угля и газа, разломы почвы, кровли, скачкообразные сдвиги горного массива часто приурочены к зонам геологических нарушений [12]. Области активизации газодинамических процессов имеют локальный, ячеистый характер, располагаются по площадям горного массива мозаично, образуя замкнутые области сложной конфигурации [13]. Установлено волнообразное распределение в горном массиве зон малоамплитудных геологических нарушений [13].

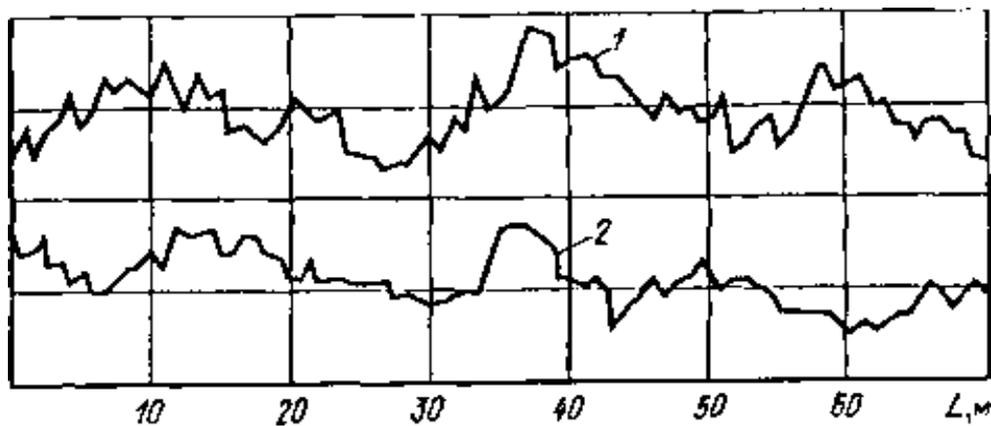
Выемка угля и пород, которая осуществляется при подвигании подготовительных и очистных забоев, приводит к зависаниям, а затем к периодическим посадкам непосредственной и основной кровель, способствует формированию статической и динамической составляющих опорного давления [14]. В работе [14] говорится, что в породах вокруг одиночной выработки по мере ее проходки должно происходить периодическое разрушение породных слоев и их отделение от массива. Из сказанного выше следует, что в одиночной выработке имеет место два вида периодичности: 1) периодическое изменение напряжений, связанное с цикличностью работ по проведению выработки; 2) периодичность, связанная с разрушением породных слоев. При этом графики изменения смещений пород кровли носят волнообразный, квазипериодический характер [14], см. рис. 6.

По данным [14], подтверждение указанной аналогии между подготовительной и очистной выработками было получено в процессе проведения инструментальных наблюдений за изменением высот выработок на участ-

ках длиной 300 – 400 м. Измерения в 6-м западном конвейерном штреке пласта 1_8^1 ш/у «Октябрьское» и в 59-м Бортовом ходке пласта h_8 шахты им. газеты «Социалистический Донбасс», п/о «Донецкуголь» представлены на рис. 6. Из графиков 1 и 2 прослеживается четкая периодичность изменения высоты выработок. Статистическая обработка измерений показала, что среднее значение периода колебаний высоты для первой выработки составляет 24,9 м с коэффициентом вариации 22,0 %, а для второй выработки эти параметры соответственно равны 17,3 м и 17,0 % [14].

Периодический характер деформирования пород кровли и почвы дает возможность утверждать, что с удалением забоя (с ростом протяженности выработки) наблюдается процесс «обжатия» выработки. Приконтурный слой вблизи поверхности забоя проводимой подготовительной выработки имеет заделку в боках выработки и над забоем. Как известно, в этих местах концентрация напряжений максимальная. По мере подвигания забоя прогиб данного слоя увеличивается, что приводит к росту напряжений в заделке. В тот момент, когда значения напряжений в заделке становятся критическими, происходит разрушение слоя, после чего напряжения снижаются. При этом необходимо отметить, что если разрушение первоначально наступит в боковых заделках, то колебания напряжения при разрушении слоя над забоем будут более значительными [14].

В, мм



- 1 – в 6-м западном конвейерном штреке ш/у «Октябрьское»;
2 – в 59-м бортовом ходке шахты им. газеты «Социалистический Донбасс»,
(позже «Заперевальная -2»; п/о «Донецкуголь», по данным работы [14])

Рисунок 6 – Распределение высот выработок – (В, мм) по их протяженности L, м

Далее автор работы [14] подводит итог выше сказанному: «...таким образом, участок, где происходит разрушение слоя, в течение некоторого времени (периода) испытывает повышенные напряжения, которые и при-

водят к большему его деформированию по сравнению с соседними. Поэтому период смещений пород по длине выработки будет определяться моментом разрушения слоя над забоем».

Анализ экспериментальных данных, приведенных в работе [15], показал, что впереди движущегося забоя выработки наблюдается чередование зон разрыхленных и уплотненных пород. Волнообразное изменение опорного давления впереди движущегося забоя проявляется в чередовании зон повышенного горного давления и зон разгрузки, таким образом, зоны сжатия чередуются с зонами растяжения. Открытия, сделанные в области геомеханики [16,17], раскрывают сущность самоорганизации породных массивов и подчеркивают важность учета волновых колебаний, происходящих в горном массиве впереди движущейся выработки.

Рассмотрим на текущем уровне изменение напряженного состояния угольного пласта при проведении подготовительных выработок. С целью выяснения общих закономерностей изменений начальной скорости газовыделения из шпуров g_n и коэффициента выбросоопасности $K_{выб}$ в угольном пласте впереди проводимых подготовительных забоев были выполнены шахтные экспериментальные исследования. По данным работы [18], анализ изменения газодинамического состояния (ГДС) и напряженно-деформированного состояния (НДС) был выполнен в условиях ш/у «Покровское» в блоке № 10 в призабойной части угольного пласта d_4 .

Пласт d_4 по всей площади блока № 10 характеризуется относительной выдержанностью по мощности, которая колеблется от 0,60 м до 2,58 м; угол падения пласта изменяется от 3° до 8° (вне зон горно-геологических нарушений – ГГН). В блоке № 10 имеет место широко развитая микро- и мелкоамплитудная нарушенность пласта d_4 . Природная газоносность пласта составляет $10 - 25,0 \text{ м}^3/\text{т.с.б.м.}$, весовой выход летучих веществ изменяется в пределах $V^{daf} = 28 - 33 \%$, коэффициент крепости угля равен $f = 0,8 - 1,2$ ед. по шкале Протодьяконова (вне зон ГГН). В кровле пласта залегает песчаный сланец мощностью $m = 1,05 - 9,85$ м, крепостью $f = 5 - 6$, часто во многих местах блока № 10 кровля пласта представлена песчаником мелкозернистым, $m = 7,80 - 15,7$ м, крепостью $f = 6 - 7$. Почва пласта d_4 сложена песчаным сланцем $m = 0,35 - 0,80$ м и $f = 5 - 6$.

Согласно нормативного документа [19], по пласту d_4 ведется текущий прогноз выбросоопасности угольных пластов по начальной скорости газовыделения из шпуров – g_n и по параметрам акустического сигнала по данным аппаратуры АПСС определяется коэффициент выбросоопасности – $K_{выб}$. и другие показатели сейсмосигналов. Шахтные исследования проводились в блоке № 10 по пласту d_4 в 3-м, 4-м и 5-м южных конвейерных

штреках. Согласно [19], текущий прогноз выбросоопасности по g_n в блоке № 10 ведется на интервалах шпура: 1,5 м; 2,5 м; 3,5 м. По каждому шпуру рассчитывалось суммарное значение начальной скорости газовыделения, измеренной на интервалах шпура: 1,5 м; 2,5 м; 3,5 м – $\sum g_{n \text{ шп.}}$. Следует отметить, что анализировались участки различной протяженности: $l = 20 - 90$ м, причем участки с зонами горно-геологических нарушений – ГГН и участки с нормальными условиями залегания пласта – НУ анализировали отдельно. Далее в каждом анализируемом участке выделяли однородные отрезки-интервалы и для каждого отдельно взятого однородного отрезка-интервала рассчитывали среднее арифметическое значение суммарной скорости газовыделения интервала – $\sum g_{n \text{ инт.}}$. В результате выполненных исследований в блоке № 10 по пласту d₄ в 3-м, 4-м и 5-м южных конвейерных штреках установлено следующее:

а) в зонах геологических нарушений наблюдается волнообразное чередование отрезков с пониженными и повышенными значениями $\sum g_{n \text{ инт.}}$;

б) на участках с нормальными условиями залегания пласта также наблюдается чередование отрезков с пониженными и повышенными значениями $\sum g_{n \text{ инт.}}$;

в) зоны геологических нарушений имеют более высокие значения $\sum g_{n \text{ инт.}}$ и их коэффициентов вариации $K_{\text{вар}}$, %;

г) в зонах геологических нарушений и на участках с нормальными условиями залегания пласта установлены квазипериодические изменения показателей суммарной скорости газовыделения интервала – $\sum g_{n \text{ инт.}}$ и коэффициента выбросоопасности – $K_{\text{выб}}$, которые обусловлены: 1) периодическими изменениями напряжений, связанными с цикличностью работ по проведению выработки; 2) периодическими расслоениями породных слоев, их сдвижением и разрушением вмещающих пород кровли. Более подробное описание результатов выполненных шахтных исследований (таблицы, графики) приведены в работах [12,18].

Выводы

1. В недрах Земли постоянно происходят различные движения, преобразования, превращения: движение тектонических плит, землетрясения, действие вулканов, осадконакопление, метаморфизм углей и катагенез пород, сдвижение горного массива при выемке полезных ископаемых, периодические посадки непосредственной и основной кровель и т.д. Свойствам недр и происходящим геодинамическим, геологическим, тектоническим, геомеханическим процессам присущи следующие характеристики: а) неоднородность, дискретность, блочность строения, постоянный приток

механической энергии; б) самоорганизация, саморазвитие; в) автомодельность, самоподобие на различных уровнях – глобальном, региональном, локальном, текущем; г) цикличность, периодичность; д) изменение объема, миграция в пространстве и во времени.

2. Примерами самоорганизации недр Земли могут служить: смена полюсов Земли, изменение радиуса Земли и скорости ее вращения, смена циклов при осадконакоплении, метаморфизм углей и катагенез пород, периодические посадки непосредственной и основной кровель при проведении горных выработок и т.д.

3. Геодинамическим, геологическим, тектоническим и геомеханическим процессам свойственны волнообразный характер изменения, периодичность, цикличность, изменения в пространстве и во времени (например, на шахтах Донбасса наблюдается волнообразный, мультимодальный характер изменения числа внезапных выбросов в ряду метаморфизма).

4. В зонах геологических нарушений, а также на участках с нормальными условиями залегания пластов установлены квазипериодические изменения показателей суммарной скорости газовыделения интервала – $\sum g_{\text{инт}}$ и коэффициента выбороопасности – $K_{\text{выб}}$, которые обусловлены: 1) периодическими изменениями напряжений, связанными с цикличностью работ по проведению выработки; 2) периодическими расслоениями породных слоев, их сдвижением и разрушением вмещающих пород кровли.

Библиографический список

1. **Кузиков, С. И.** Структура поля современных скоростей коры в районе Центрально-Азиатской GPS сети [Текст] / С. И. Кузиков, Ш. А. Михамедиев // Физика Земли. – 2010. – № 7. – С. 33 – 51.

2. **Викулин, А. В.** О современной концепции блочно-иерархического строения геосреды и некоторых ее следствиях в области наук о Земле [Текст] / А. В. Викулин, А. Г. Иванчин // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2013. – № 3. – С. 67 – 84.

3. **Ильгамов, М. А.** Скорость волн и спектр частот продольных колебаний нанопленок из интерметаллов [Текст] / М. А. Ильгамов // Физика твердого тела. – 2015. – Т. 57. – Вып. 5. – С. 950 – 954.

4. **Руденко, О. В.** Нелинейная модель гранулированной среды, содержащей слои вязкой жидкости и газовые полости / О.В. Руденко [и др.] // Акустический журнал. – 2012. – Т. 58. – № 1. – С. 112 – 120.

5. **Зуев, Л. Б.** Физика макролокализации пластического течения [Текст] / Л. Б. Зуев, В. И. Данилов, С. А. Баранникова // Новосибирск: Наука, 2008. – 328 с.

6. **Садовский, М. А.** Избранные труды. Геофизика и физика взрыва [Текст] М. А. Садовский // Москва. Наука, 2004. – 440с. / Электронная библиотека «История Росатома».

7. **Халилов, Э. Н.** Гравитационные волны и геодинамика [Текст] / Э. Н. Халилов // Баку-Берлин-Москва, Элм – ICSD/IAS, 2004. – 330с.
8. **Тверитинова, Т. Ю.** Волновая тектоника Земли [Текст] / Т. Ю.Тверитинова // Геодинамика и тектонофизика. – Москва, 2010. – Т. 1. – № 3. – С. 297–312.
9. **Саранчук, В. И.** Надмолекулярная организация, структура и свойства угля [Текст] / В. И. Саранчук, А. Т. Айруни, К. Е. Ковалев. Отв. ред. В. А. Сапунов – К.: Наукова думка, 1988. – 192 с.
10. Выбросы угля, породы в шахтах Донбасса в 1906-2007 гг., справочник [Текст] / Н. Е. Волошин [и др.] – Донецк: СПД Дмитренко, 2008. – 920 с.
11. **Антипов И.В.** Проявление выбросоопасности углей в ряду метаморфизма [Текст] / И. В. Антипов, А. Г. Радченко, А. А. Радченко // Безопасность труда в промышленности. – М., 2015. – № 5. – С. 59 – 65.
12. Горные работы в сложных условиях на выбросоопасных угольных пластах: [монография], [Текст] / Минеев С. П. [и др.] – Донецк: ООО «Східний видавничий дім», 2010. – 603 с.
13. **Булат, А. Ф.** Фракталы в геомеханике / А. Ф. Булат [и др.] – Киев: Наукова думка, 2007. – 389 с.
14. **Черняк, И. Л.** Повышение устойчивости подготовительных выработок [Текст] / И. Л. Черняк. – М.: Недра, 1993.– 256 с.
15. Закономерности самоорганизации грунтовых и породных массивов, ослабленных подземными выработками / Ильяшов М. А. [и др.] // Материалы международной конференции «Форум горняков – 2008».– Днепропетровск: НГУ, 2008. – С. 59 – 72.
16. Научное открытие № 318. Закономерность самоорганизации грунтовых и породных массивов вокруг протяженных горных выработок / Байсаров Л. В. [и др.]. – М.: РАЕН, 2006. – 6 с.
17. Научное открытие № 188. Явление образования перемещающихся нарушенных зон в напряженных горных породах / Кириченко В. Я. [и др.] // Сборник кратких описаний научных открытий, научных идей, научных гипотез. – 2002. – С. 62 – 63.
18. **Киселев, Н. Н.** Исследование особенностей изменения газодинамического и напряженно-деформированного состояний в призабойной части пласта d₄ / Н. Н. Киселев, В. П. Коптиков, А. Г. Радченко, А. А. Радченко // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. Випуск 9 / Під заг. ред. А.В. Анциферова. – Донецьк, УкрНДМІ НАН України, 2011. – Ч.1. – С.336 – 342.
19. **СОУ 10.1.00174088.011–2005** Правила ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям. – Киев: Минуглепром Украины, 2005. – 225 с.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Агарков А.В., Симонов А.М., Карнаух Н.В., Мавроди А.В., Захлебин В.В.</i> Поддержание подготовительных выработок в условиях шахты имени Челюскинцев	4
<i>Бабак Б.Н. (научный руководитель Касьян Н.Н.)</i> Совершенствование конструкции сооружения из рядовой породы, помещенной в оболочку, с целью улучшения его нагрузочно- деформационной характеристики	12
<i>Вережникова Е.А., Зозуля Я.Д. (научн. рук. Макеев А.Ю., Шестопалов И.Н.)</i> Методика расчета параметров комбинированной рамно-анкерной крепии	19
<i>Воронова И.Н. (научный руководитель Гомаль И.И.)</i> Отработка пластов опасных по горным ударам.....	30
<i>Высоцкий С.А., Дрига И.В. (научн. рук. Выговский Д.Д., Выговская Д.Д.)</i> Особые требования при технологии ликвидации вертикального ствола угольной шахты.....	36
<i>Гречко П.А. (научный руководитель Касьяненко А.Л.)</i> Изучение проявлений горного давления с помощью лазерных сканирующих систем	40
<i>Гнидаш М.Е., Иващенко Д.С. (научн. рук. Соловьев Г.И., Нефедов В.Е.)</i> Особенности поддержания конвейерных штреков при различных вариантах сплошной системы разработки в условиях шахты «Коммунарская» «ПАО Шахтоуправление «Донбасс».....	45
<i>Елистратов В.А. (научный руководитель Гомаль И.И.)</i> Возможные направления использования геотермальной энергии угольных шахт	54
<i>Иванюгин А.А. (научный руководитель Стрельников В.И.)</i> Компьютерные технологии рецензирования проекта разработки угольного пласта	59
<i>Иващенко Д.С., Гнидаш М.Е. (научн. рук. Соловьев Г.И., Нефедов В.Е.)</i> Охрана подготовительных выработок глубоких шахт комбинированными опорными конструкциями	68
<i>Кириленко Ю.И. (научный руководитель Касьяненко А.Л.)</i> Исследование состава пород угольных пластов Донецко-Макеевского района Донбасса	79

<i>Корниенко И.М., Сидяченко О.А. (научный руководитель Скаженик В.Б.)</i>	
Компьютерная анимация горных работ на угольных шахтах	87
<i>Кукота М.В. (научный руководитель Гомаль И.И.)</i>	
Анализ существующих методов борьбы с внезапными выбросами в условиях ОП «Шахта Холодная Балка» ГП «Макеевуголь» и в мировой практике	91
<i>Манухин С.В., Склепович К.З.</i>	
Исследование напряженно-деформированного состояния горных пород при анкероании почвы подготовительной выработки	99
<i>Нескреба Д.А., Поляков П.И.</i>	
Исследование физико-механических свойств и процессов развития нарушенности в несущих слоях горного массива	105
<i>Николаев И.А., Бабак Б.Н. (научн. рук. Касьян Н.Н., Дрипан П.С.)</i>	
Перспективные направления совершенствования технологии применения анкерной крепи	109
<i>Обедников Д.В. (научный руководитель Литвинский Г.Г.)</i>	
Разработка программы расчета на ЭВМ смещений пород в горных выработках	115
<i>Онокий Э. Ю. (научный руководитель Касьяненко А.Л.)</i>	
Анализ методик оценки устойчивости пород в горных выработках	123
<i>Павленко Ю.В. (научн. рук. Соловьев Г.И., Голембиевский П.П.)</i>	
Особенности применения анкерной крепи для поддержания конвейерных штреков в условиях глубоких шахт Донбасса	130
<i>Панин Ф.А., Панин А.А. (научн. рук. Соловьев Г.И., Малышева Н.Н.)</i>	
Особенности применения комбинированных способов поддержания подготовительных выработок глубоких шахт Донбасса	139
<i>Палейчук Н.Н., Санин Д.А. (научный руководитель Рябичев В.Д.)</i>	
Обоснование вида переправы Керченского пролива	153
<i>Палейчук Н.Н., Спичак Ю.Н.</i>	
Экономические аспекты геотехнологии на шахтах Восточного Донбасса	157
<i>Радченко А.Г., Киселев Н.Н., Радченко А.А., Горбунов И.Э.</i>	
Выбороопасность пологих нарушенных угольных пластов Донбасса	163

<i>Радченко А.Г., Киселев Н.Н., Радченко А.А., Гетманец Л.В.</i> Комплекс факторов, оказывающих влияние на формирование газодинамической активности угольных пластов, при проведении подготовительных выработок.....	170
<i>Резник А.В., Мазилин А.В. (научный руководитель Петренко Ю.А.)</i> Анализ химических растворов, применяемых при упрочнении пород.....	187
<i>Резник А.В., Мазилин А.В. (научный руководитель Петренко Ю.А.)</i> Временная набрызгбетонная крепь основных выработок, сооружаемых буровзрывным способом.....	191
<i>Сивоконь М.А., Бабак Б.Н. (научн. рук. Выговская Д.Д., Выговский Д.Д.)</i> Определение комплекса социально-экономической информации при проектировании технологической схемы угольной шахты	193
<i>Степаненко Д.Ю. (научный руководитель Дрипан П.С.)</i> Обоснование и выбор мероприятий по предотвращению газодинамических явлений при проведении участковых пластовых выработок в условиях пласта h ₆ ОП «Шахта им. А.А. Скочинского» ГП «ДУЭК».....	196
<i>Терлецкий Ю.Н., (научный руководитель Касьяненко А.Л.)</i> О возможности переработки углей Донецкого бассейна в синтетическое жидкое топливо	200
<i>Холод А.Н. (научный руководитель Новиков А.О.)</i> Анализ существующих технологических схем ремонта горных выработок	207
<i>Чулаков К.П. (научный руководитель Новиков А.О.)</i> О повышении устойчивости выработок в условиях НШУ «Яреганефть» ООО «Лукойл-Коми»	216
<i>Якубовский С.С. (научный руководитель Дрипан П.С.)</i> Обоснование и выбор способа охраны магистральных выработок при разработке запасов уклонного поля пласта h ₁₀ ^B ОП «Шахта им. С.М. Кирова» ГП «Макеевуголь»	219

Сборник научных трудов кафедры разработки месторождений
полезных ископаемых ГОУВПО «ДОННТУ»

Инновационные технологии разработки месторождений полезных ископаемых

№ 4 (2018)

Статьи в сборнике представлены в редакции авторов