

Научная статья

Original article

УДК 622

doi: 10.55186/2413046X_2023_8_11_543

**ГЕОДИНАМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ
ШАХТНЫХ ПОЛЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ
GEODYNAMIC ZONING OF PROMISING MINE FIELDS TO IMPROVE
THE SAFETY OF MINING OPERATIONS**



Мусин Равиль Альтавович, PhD, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Казахстан, г. Караганда, R.A.Mussin@mail.ru

Хусан Болатхан, PhD, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Казахстан, г. Караганда

Муртазина Фариза Ермахамбетовна, докторант, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Казахстан, г. Караганда

Ханафин Улан Жомартович, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Казахстан, г. Караганда

Musin Ravil Altavovich, PhD, Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Kazakhstan, Karaganda, R.A.Mussin@mail.ru

Husan Bolathan, PhD, Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Kazakhstan, Karaganda

Murtazina Fariza Ermakhambetovna, Doctoral student. Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Kazakhstan, Karaganda

Khanafin Ulan Zhomartovich, Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Kazakhstan, Karaganda

Аннотация. В статье рассмотрена проблема внезапных выбросов угольных шахт повлекшие за собой групповые несчастные случаи. Это связано с увеличением глубины горных работ и, соответственно, повышением горного давления и газоносности горного массива. Разрешение этой проблемы, путем геодинамическое районирование шахтных полей включающее в себя: выявление блочной структуры массива в пределах шахтного поля и прилегающих районов, а также оценку их взаимодействия; выявление активных разломов и определение степени их активности; выделение региональных и локальных тектонических напряженных и разгруженных зон. В результате проведения работ сформулированы методические рекомендации по мониторингу шахтных полей для контроля геодинамического состояния горного массива и рекомендации по оптимальным схемам раскройки шахтных полей и порядке отработки выемочных единиц.

Abstract. The article deals with the problem of sudden emissions of coal mines resulting in group accidents. This is due to an increase in the depth of mining operations and, accordingly, an increase in mountain pressure and gas content of the mountain range. The solution of this problem is through geodynamic zoning of mine fields, which includes: identification of the block structure of the massif within the mine field and adjacent areas, as well as assessment of their interaction; identification of active faults and determination of the degree of their activity; allocation of regional and local tectonic stressed and unloaded zones. As a result of the work, methodological recommendations for monitoring mine fields for monitoring the geodynamic state of the mountain range and recommendations on optimal schemes for cutting mine fields and the procedure for working out excavation units were formulated.

Ключевые слова: геодинамическое районирование, безопасность, угольные пласты, внезапные выбросы, разломы, мониторинг, шахтное поле, напряженное состояние

Key words: geodynamic zoning, safety, coal seams, sudden emissions, faults, monitoring, mine field, stress state

Введение

Обеспечения безопасных условий труда в угольных шахтах Карагандинского бассейна в последнее время приобретает все более острый характер. Интенсивная отработка угольных пластов сопровождается внезапными выбросами угля и газа в горные выработки. О чем свидетельствуют крупные несчастные случаи, произошедшие в последние годы на шахтах Карагандинского бассейна [1].

Важным фактором риска при производстве подземных горных работ является наличие или близкое расположение к участкам подземной добычи геодинамически активных структур, характеризующихся наличием зон высоконапряженных горных пород, чередующихся с зонами ослабленных трещиноватых пород. Известно, что структуры эти редко обнаруживают себя при традиционном подземном геологическом картировании и требуют привлечения более содержательной информационной базы и специализированных методов ее анализа и обработки. В задачу геодинамического районирования входит выполнение прогнозной оценки ожидаемых условий отработки пластов в границах шахты «Абайская» Карагандинского угольного месторождения, указание местоположения опасных участков, оценка напряженного состояния, зон риска, разработка рекомендаций по безопасному ведению горных работ [2].

Методика

Методический подход к решению поставленной в заключении задачи состоял в последовательном решении следующих вопросов:

– трассировки геодинамически активных разломов в границах горного отвода поля шахты «Абайская» по комплексу выявленных морфологических и топометрических признаков;

– установления кинематических типов выявленных активных разломов и их связи с системами ранее картированных геологических нарушений;

– прогноз степени и характера представляемой геодинамической опасности активных нарушений в плане их влияния на условия отработки пластов при рекомендованных схемах их раскройки.

На основе набора перечисленных признаков в настоящем заключении использована традиционная схема геодинамического районирования, предписанная методическими указаниями «Геодинамическое районирование недр» с учетом отражения в ней фактического строения недр и имеющихся в них геологических нарушений.

Для построения рельефа использована цифровая модель NASA Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM 90m Digital Elevation Database v4.1). Для построения карты магнитных аномалий использована цифровая модель Earth Magnetic Anomaly Grid (EMAG2: 2-arc-minute resolution). Для построения карты гравитационных аномалий использована цифровая модель World Gravity Map (WGM2012) [3].

Поле шахты «Абайская» расположено в юго-восточной части Чурубай Нуринской синклинали. Характер рельефа местности – равнинный. Абсолютные отметки поверхности изменяются от 483 до 492 м. Описываемый участок поля расположен на сравнительно пологой юго-восточной части синклинали, разбитой серией широтных взбросов на ряд крупных изолированных тектонических блоков. Эти блоки, в свою очередь, нарушены серией разломов третьего порядка и сложены дополнительной складчатостью. Морфоструктурный анализ выполнялся по топографической карте масштаба 1:5000. Все разломы, которые удалось выделить в результате морфоструктурного анализа, показаны с достаточной долей вероятности (рисунок 1). В центральной части шахтного поля, судя по рисунку гониобазит, проходят взбросовые деформации (пунктирная линия).

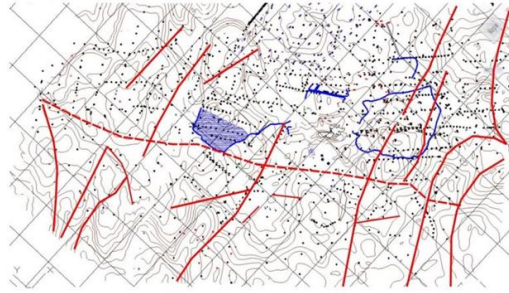


Рисунок 1 – Схема разломов территории шахты «Абайская», установленных методом структурной морфометрии

Figure 1 – Diagram of the faults of the territory of the «Abay» mine, established by the method of structural morphometry

1-сурет- Құрылымдық морфометрия әдісімен анықталған «Абай» шахтасының аумағындағы жарықтар схемасы

Более мелкие нарушения по топографической карте представленного качества идентифицировать невозможно. Все разрывные нарушения на шахте «Абайская» по протяженности и амплитудам квалифицируются следующими группами:

– Крупные разломы с амплитудами не более 100 м и протяженностью свыше 10 км. Особенности этих нарушений являются широкие зоны дробления, представленные сериями мелких разломов.

Дополнительная складчатость поля шахты «Абайская» в целом относится к мелкой и очень мелкой. Протяженность осей складок не превышает 1000 м, а амплитуда от 20 до 100 м и менее. В соответствии с геологическим строением и условиями залегания на поле шахты «Абайская» выделяются два водоносных горизонта и один водоносный комплекс каменноугольных отложений. Водоносный горизонт четвертичных аллювиальных отложений имеет широкое распространение и покрывает почти весь участок сплошным чехлом. Представлен отложениями разнозернистых гравелистых песков и суглинков, характеризуется свободным зеркалом подземных вод с неглубоким его залеганием, от 2 до 4,5 м. Глубина залегания вод аллювиального потока зависит от рельефа

поверхности. Мощность отложений уменьшается с запада на восток. Максимальная мощность на западе составляет от 15 до 18 м. Удельные дебиты при откачках из скважин достигали 8 л/с, даже 15 л/с при коэффициенте фильтрации 67–260 м/сут. Кроме того, следует особое внимание уделять газоносности на площади шахтного поля «Абайская». Доминирующим фактором, характеризующим изменчивость газоносности на площади, является глубина залегания пласта [4]. Особенно это выражается на шахтных полях, где на ограниченной площади качественный состав меняется в пределах, существенно не влияющих на газоносность. Например, произведенная в свое время оценка максимального отклонения от среднего, вызванная пренебрежением изменчивости качественного состава угля на шахтных полях «Абайская» (им. Калинина) и «Чурубай-Нурина», не превышает 1–2 м³/т.г.м. При допустимых ошибках определения газоносности эти величины не могут значительно повлиять на достоверность прогноза. В то же время на шахтных полях по одному пласту при разнице в глубине залегания в 400–500 м газоносность изменяется от 2 до 23 м³/т.г.м. Степень метаморфизованности углей также тесно коррелируется с глубиной залегания пласта. Учитывая это, наиболее важной закономерностью при прогнозе природной газоносности считается изменение газоносности пластов с глубиной. До начала влияния очистных работ вмещающие угольный пласт боковые породы и угольный пласт находятся в состоянии всестороннего сжатия и неподвижны относительно друг друга. Динамика газовых свойств системы угольный пласт-газ находится в тесном соответствии с перераспределением горного давления, вызванным нарушением естественного состояния горного массива [5].

Результаты

В результате выемки угля впереди линии подвигающегося очистного забоя под воздействием перераспределения горного давления происходят существенные изменения напряженности и свойств разрабатываемого пласта, характеризующиеся падением давления газа в пласте, ростом интенсивности

газоотдачи пласта и повышением газопроницаемости угольного массива (рисунок 2). Протяженность зоны влияния лавы зависит от времени, физико-механических свойств угольного пласта и вмещающих его пород, глубины залегания пласта и его мощности, способа управления горным давлением, скорости подвигания очистного забоя, направления выемки столба угля и других факторов и достигает, по данным натурных определений, 40–80 м. Существенной особенностью зоны влияния очистного забоя на угольных пластах является наличие в ней двух частей. Первая часть, примыкающая непосредственно к выработанному пространству, – зона пластических деформаций пласта, характеризующаяся нарастанием напряжений от значений, характерных напряжениям на кромке забоя, до максимальных [6].

На рисунке 3 предложена схема газодинамического состояния разрабатываемого угольного пласта впереди подвигающейся очистной выработки в зависимости от расстояния вглубь массива от поверхности обнажения в забое (1 – давление метана в угольном пласте; 2- интенсивность газоотдачи угольного массива; 3 – газопроницаемость пласта)

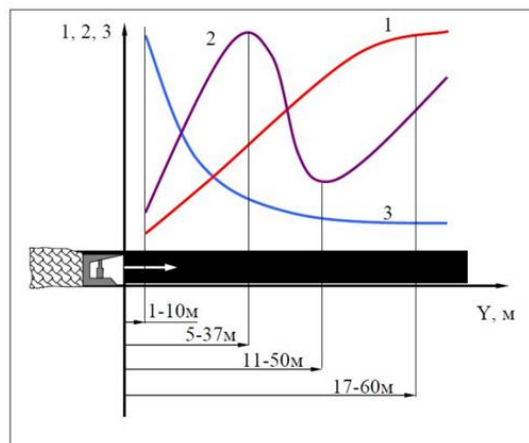


Рисунок 2 – Схема газодинамического состояния разрабатываемого угольного пласта

Figure 2 – Diagram of the gas-dynamic state of the coal seam under development

2-сурет – Қазылып жатқан көмір қабатының газдинамикалық жай-күйінің сызбасы

Вторая часть – зона упругих деформаций пласта, характеризующаяся падением напряжений от максимальных до свойственных нетронутому массиву. Газоносность недегазируемого массива вне зоны влияния забоя и в зоне упругих деформаций сохраняется постоянной, вплоть до попадания этой части массива в зону пластических деформаций, где за счет дегазирующего влияния очистной выработки газоносность пласта снижается. Темп спада газоносности массива за счет естественной дегазации определяется динамикой фильтрационных свойств пласта и скоростью подвигания очистного забоя. В общем случае интенсивность газоотдачи пластовых скважин, работающих в режиме передовой дегазации, зависит от интенсивности добычи угля, т.е. чем быстрее подвигание забоя, тем быстрее происходит разгрузка пласта, больше выделяется газа в пластовые скважины, находящиеся в зоне разгрузки. С глубиной в значительной степени уменьшается проницаемость угольных пластов, которая для пласта K_{10} на глубине 500 м составляет $0,56 \cdot 10^{-2}$ мД [7]. Характер изменения кривой проницаемости позволяет предположить, что с глубины 600 м газовыделение в пластовые скважины снизится, эффективность предварительной дегазации упадет до 7–10 %. При ведении очистных работ зона разгрузки составляет 40 – 80 м, т. е. в режиме передовой дегазации работают 10–20 пластовых скважин, если они пробурены через 4 м. Величина газовыделения в скважины передовой дегазации зависит не только от интенсивности ведения очистных работ, но и от проницаемости пласта, обусловленной глубиной его залегания [8].

Удельное газовыделение из пластовых скважин снижается с течением времени. Начальное удельное газовыделение, определенное по фактическим данным, значительно отличается от нормативного на глубинах 400–450 м. Однако с ростом глубины эта разница уменьшается (рисунок 3). В результате выполненных работ, согласно методике ВНИМИ, построены геодинамически опасные зоны шахты «Абайская» на планах горных работ, в которых

существует достаточно высокая вероятность проявления геодинамических явлений (рисунок 4).

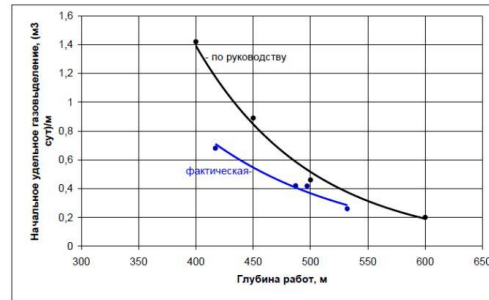


Рисунок 3 – Изменение начального удельного газовыделения в пластовые скважины, пробуренные по пласту K_{10} на шахте «Абайская»

Figure 3- Change in the initial specific gas release into reservoir wells drilled through the K_{10} formation at the «Abay» mine

3-сурет- «Абай» шахтасында K_{10} кабаты бойынша бұрғыланған кабаттық ұңғымаларға бастапқы үлестік газ бөлуді өзгерту

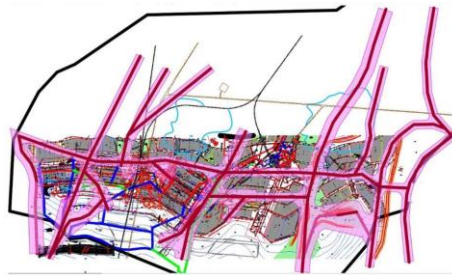


Рисунок 4 – Геодинамические опасные зоны шахты «Абайская»

Figure 4- Geodynamic hazardous zones of the «Abay» mine

4-сурет- «Абай» шахтасының геодинамикалық қауіпті аймақтары

а) На рисунке фиолетовым контуром показаны геодинамически опасные зоны на плане горных работ по пласту K_{18} ;

б) По центру опасных зон бордовой линией показаны разломы.

Обсуждение результатов

На основании анализа представленных материалов в качестве основных факторов, влияющих на сейсмические и геодинамические условия отработки поля шахты «Абайская», рассматривались:

– Степень сейсмичности территории шахты, которая определяется влиянием не только главных тектонических структурных элементов земной коры месторождения, но и расположением относительно формируемых данными геотектоническими структурами современных сейсмоактивных (сейсмогенерирующих) зон [9].

– Механизм очагов большинства землетрясений выделенной сейсмогенной зоны, которому свойственны длительно ориентированные субгоризонтальные векторы максимальных сжимающих напряжений, что указывает на их связь с процессом меридионального сжатия земной коры, обусловленного геодинамикой Урало-Монгольского складчатого пояса, вдоль границ которого в современный период происходит медленное надвигание Индокитайской континентальной плиты на Евроазиатскую.

– Сейсмический режим на территории горного отвода шахты «Абайская», формирующийся, вероятнее всего, за счет локальных геодинамических зон, обусловленных дизъюнктивными нарушениями и технологическими факторами.

– Средний диапазон глубины отработки пластов K_7 , K_{10} , K_{12} с точки зрения условий сейсмобезопасности.

– Использование современной технологической схемы отработки и технических средств добычи, обеспечивающих высокую степень регулируемости режимов добычи и возможность управления состоянием недр технологией добычи.

Практика эксплуатации в таких условиях показывает необходимость оставления защитных пачек в кровле для поддержания ложной кровли. На план горных работ также нанесены зоны влияния (буферные) геологических нарушений. Штриховкой выделены потенциально геодинамически опасные зоны. Из-за погрешности исходных данных и значительной глубины ведения работ ширина зон имеет значительную величину, фактические параметры могут быть уточнены при ведении горных работ.

При ведении горных работ в зонах влияния этих структур они могут способствовать:

- проявлению признаков повышенной удароопасности пластов;
- эпизодическим проявлениям глубинных толчков при отработке нижних пластов свиты пластов в скоростном режиме на глубинах более 400 м;
- проявлениям газодинамических явлений и повышенной эманации газов из подстилающей геологической среды (особенно при скоростных режимах отработки пластов);
- отжимам угля из груди забоя, проявлениям щелчков, тресков и осыпаний пласта из забоя лавы при его движении;
- повышенной концентрации малоамплитудных разрывных нарушений вдоль створных направлений геодинамически активных структур [10].

Заключение

Осуществляемые шахтой «Абайская» подземные горные работы могут оказать лишь провоцирующее влияние на проявление подземных толчков в зонах ведения горных работ, но не могут рассматриваться в качестве первопричины проявления возможных сейсмических активизаций. В этой связи любые изменения технологических параметров подземной добычи могут оказывать лишь регулирующее влияние на сценарий развития сейсмических процессов, способствуя либо быстрой (спонтанной), либо медленной (криповой) реализации накопленного в недрах сейсмического потенциала. До глубин ведения горных работ 400 м провоцирующего влияния подземной добычи на проявления подземных толчков не ожидается.

Предлагаются следующие меры технологического и организационного плана:

- Предусмотреть снижение скорости движения лав до 150 м в месяц также на завершающей стадии их отработки при подходе за 40 м к целикам под вскрывающие уклоны.

– Предусмотреть увеличение размеров границ опасного влияния зон ПГД до 100 % их протяженности в кровлю и почву (в действующей норме это 80 %) как наиболее вероятных проводников опасных сейсмических воздействий.

Список источников

1. Tianwei L., Hongwei Zh., Sheng L., Irina B., Andrian B. Application and Development of the Method of Geodynamic Zoning According to Geodynamic Hazard Forecasting at Coal Mines in China // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 221, 2019. – pp. 17-23.
2. Batugin A., Musina V., Golovko I. Analysis of Geodynamical Conditions of Region of Burning Coal Dumps Location // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 95, 2017. – 78 p.
3. Ponomarev V.S. Development of proposals for a technological platform for monitoring complex diagnostics of the safety of coal regions. – Monitoring. Science and technology., 2013. – №1. – pp. 42-47.
4. Rabatuly M., Musin R.A., Demin V.F., Usupaev Sh.E., Kenetaeva A.A. Improving the efficiency of methane extraction from coal seams. *Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra // Complex Use of Mineral Resources*, 2023. – 324(1). – pp. 5-11.
5. Еременко В.А., Ерусланов А.П., Прохвятилов С.А. // Динамика изменения начальной скорости газовыделения при пересечении подготовительными выработками тектонических разломов // ГИАБ. – 2012 - №9. – С. 199-2013.
6. Филимонов Е.С, Портнов В.С., Кенетаева А.А., Рабатулы М.Р. Извлечения метана из угольных пластов для обеспечения безопасного проведения горных работ в угольных шахтах Карагандинского бассейна. Монография // Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова. – Караганда, Издательство КарТУ, 2022. – 145 с.
7. Бондур В.Г., Зверев А.Т., Кузнецова Л.В. Космический мониторинг геодинамических предвестников крупных землетрясений // Исследование Земли из космоса, 2006. – № 2. – С. 184–189.

8. Костливец А.А. Тектоника шахтных полей Карагандинского каменноугольного бассейна: автореферат дисс. канд. геол.-мин. наук. – Караганда, 1985. – 77 с.
9. Смирнов Л.А. Моделирование локальных полей напряжений при прогнозировании областей развития малоамплитудных разрывов на месторождениях полезных ископаемых. Поля напряжений и деформаций в литосфере. – М.: Наука, 1978. – С. 256.
10. Понятие «глубинный разлом» и проблемы семантики глубинных разломов / Ю.А. Косыгин, В.Ю. Забродин, А.А. Коноваленко [и др.] // Геотектоника. – 1977. – № 3. – С. 106-112.

References

1. Tianwei L., Hongwei Zh., Sheng L., Irina B., Andrian B. Application and Development of the Method of Geodynamic Zoning According to Geodynamic Hazard Forecasting at Coal Mines in China // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 221, 2019. – pp. 17-23.
2. Batugin A., Musina V., Golovko I. Analysis of Geodynamical Conditions of Region of Burning Coal Dumps Location // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 95, 2017. – 78 p.
3. Ponomarev V.S. Development of proposals for a technological platform for monitoring complex diagnostics of the safety of coal regions. – Monitoring. Science and technology., 2013. – №1. – pp. 42-47.
4. Rabatuly M., Musin R.A., Demin V.F., Usupaev Sh.E., Kenetaeva A.A. Improving the efficiency of methane extraction from coal seams. Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra // Complex Use of Mineral Resources, 2023. – 324(1). – pp. 5-11.
5. Eremenko V.A., Yerulanov A.P., Prokhvatilov S.A. // Dynamics of changes in the initial velocity of gas release at the intersection of preparatory workings of tectonic faults // GIAB. – 2012 - No. 9. – S. 199-2013.
6. Filimonov E.S., Portnov V.S., Kenetaeva A.A., Rabatuly M.R. Methane extraction from coal seams to ensure safe mining operations in the coal mines of

Московский экономический журнал. № 11. 2023

Moscow economic journal. № 11. 2023

the Karaganda basin. Monograph // Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov. – Karaganda, KarTU Publishing House, 2022. – 145 p.

7. Bondur V.G., Zverev A.T., Kuznetsova L.V. Space monitoring of geodynamic precursors of large earthquakes // Exploration of the Earth from space, 2006. – No. 2. – pp. 184-189.

8. Kostlivtsev A.A. Tectonics of mine fields of the Karaganda coal basin: abstract of dissertation of the Candidate of Geological Sciences. – Karaganda, 1985. – 77 p.

9. Smirnov L.A. Modeling of local stress fields in predicting areas of development of low-amplitude ruptures in mineral deposits. Stress and strain fields in the lithosphere. – M.: Nauka, 1978. – p. 256.

10. The concept of "deep fault" and problems of semantics of deep faults / Yu.A. Kosygin, V.Yu. Zabrodin, A.A. Konovalenko [et al.] // Geotectonics. – 1977. – No. 3. – pp. 106-112.

Для цитирования: Мусин Р.А., Хусан Б., Муртазина Ф.Е., Ханафин У.Ж. Геодинамическое районирование перспективных шахтных полей для повышения безопасности ведения горных работ // Московский экономический журнал. 2023. № 11. URL: <https://qje.su/nauki-o-zemle/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-11-2023-10/>

© Мусин Р.А., Хусан Б., Муртазина Ф.Е., Ханафин У.Ж., 2023. Московский экономический журнал, 2023, № 11.