

ЛИТЕРАТУРА

1. Брюховецкий О.С. Гидравлическая теория транспортирования частиц горных пород в трубопроводах//Сб. научных докл. «Комплексное освоение месторождений твердых полезных ископаемых». В. 1. М.: Недра, 1991. С. 63–76.
2. Брюховецкий О.С. Рудничный напорный гидравлический транспорт горной массы: Учебное пособие. СПб.: Издательство «Лань», 2018, 196 с.: ил.
3. Брюховецкий О.С., Иляхин С.В., Карпиков А.П., Яшин В.П. Основы горного дела: Учебное пособие. СПб.: Издательство «Лань», 2017. 352 с.: ил.
4. Брюховецкий О.С., Смолдырев А.А. Актуальные задачи деформационных процессов в массивах горных пород при разведке и разработке рудных месторождений. Отчёт по НИР, МГГА, М., 1998. 37 с.
5. Брюховецкий О.С., Томских А.А., Левчук А.И. Усовершенствование и внедрение технологии закладочных работ на основе тиксотропных смесей с использованием активатора-взвешивателя на руднике «Каульды». Отчёт по НИР., М.: МГРИ, 1989. 73 с.
6. Смолдырев А.Е. Технология и механизация закладочных работ. М.: Недра, 1974. 328 с.

REFERENCES

1. Bryukhovetskiy O.S. The hydraulic theory of transportation of particles of rocks in pipelines. *Collection of scientific reports «Complex development of fields of solid minerals»*, vol. 1, M., Nedra Publ., 1991, pp. 63–76. (In Russian).
2. Bryukhovetskiy O.S. *Mining pressure hydraulic transport of mountain mass*: Saint-Petersburg: Publishing house «Lan», 2018, 196 p. (In Russian).
3. Bryukhovetskiy O.S., Ilyakhin S.V., Karpikov A.P., Yashin V.P. *Fundamentals of mining*, Saint-Petersburg: Publishing house «Lan», 2017, 352 p. (In Russian).
4. Bryukhovetskiy O.S., Smoldyrev A.A. *Actual problems of deformation processes in rock mass during exploration and development of ore deposits*, M., MGGA, 1998, 37 p. (In Russian).
5. Bryukhovetskiy O.S., Tomskikh A.A., Levchuk A.I. *Improvement and implementation of backfilling technology based on thixotropic mixtures using an activator-sprinkler at the Kauldy mine*. *MGRI-RGGRU*, M., 1989, 73 p. (In Russian).
6. Smoldyrev A.E. *Technology and mechanization of backfilling*, M., Nedra Publ., 1974, 328 p. (In Russian).

УДК 622.02; 622.831.32

ПРИМЕНЕНИЕ И РАЗВИТИЕ МЕТОДА ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ПО ПРОГНОЗУ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ КИТАЯ

ЛАНЬ ТЯНЬВЭЙ^{1,2,3}, ЧЖАН ХУНВЭЙ^{1,3}, ЛИ ШЭН^{1,3}, А.С. БАТУГИН^{3,4},
ЧЖАО ВЭЙГО^{1,5}, ЛИ ЦЯН^{1,5}, СУНЬ ЦЗЮЧЖЭН^{1,5}

¹Ляонинский инженерно-технический университет, Институт горного дела
47, Джонхуа ул., г. Фусинь 123000, провинция Ляонин, КНР
email: ltw821219@163.com

²Китайский горный университет, Государственная лаборатория угольных ресурсов и безопасности добычи
1, Даксю ул., г. Сюйчжоу 221116, провинция Цзянсу, КНР

³Ляонинский инженерно-технический университет,
Центр инженерных исследований по безопасной добыче и утилизации угля
47, Джонхуа ул., г. Фусинь 123000, провинция Ляонин, КНР
email: ltw821219@163.com

⁴НИТУ МИСИС, Горный институт
4, Ленинский проспект, г. Москва 119991, Россия
email: as-bat@mail.ru

⁵Акционерное общество «Угольная компания "Шуан-Яшань"
240, Синсин ул., г. Шуан-Яшань 155100, провинция Хэйлунцзян, КНР

Метод геодинамического районирования прошел в Китае три периода своего развития: «становление», «развитие» и «инновации». С его помощью созданы модели, связывающие блочные структуры тектонических плит земной коры и полей угольных шахт. Разработана программа расчетов напряженного состояния массива горных пород, учитывающая данные геодинамического районирования. Разработана модель многофакторного распознавания и прогноза геодинамической опасности при ведении горных работ. Представляется, что для реализации геодинамических явлений необходимо выполнение определенных условий в окружающем массиве, в связи с чем установлены индексы и методы оценки этих условий. Для исследования связи

между энергией и размерами участвующей в этом процессе части массива, создана модель и выявлены условия разрушения. На примерах конкретных шахт показана эффективность метода распознавания мест повышенной геодинамической опасности. Для полей шахт Юэ Цзинь и Джинси выявлены опасные, угрожаемые и неопасные участки по проявлению внезапных выбросов угля и газа и горных ударов. Профилактические мероприятия для повышения геодинамической безопасности при ведении горных работ рекомендуется применять на основе данных производимых прогнозов.

Ключевые слова: метод геодинамического районирования; геодинамическая опасность, горный удар, внезапный выброс, геодинамические условия; прогноз опасности, распознавание образов.

APPLICATION AND DEVELOPMENT OF THE METHOD OF GEODYNAMIC ZONING FOR FORECASTING THE GEODYNAMICAL DANGER AT COAL MINES OF CHINA

LAN TIANWEI^{1,2,3}, ZHANG HONGWEI³, LI SHENG³, A.S.BATUGIN^{3,4},
ZHAO WEIGUO^{1,5}, LI QIANG^{1,5}, SUN SUJAN^{1,5}

¹Liaoning University of Science and Technology, Mining Institute
47, Zhonghua Road, Fuxin city 123000, Liaoning Province, China
email: ltw821219@163.com

²China University of Mining and Technology State laboratory for coal resources and risk free coal mining;
1, Daxue Road, Xuzhou 221116, Jiangsu province, China;

³Liaoning University of Science and Technology,
Centre of Engineering Research on Risk Free Recovery and Use of Coal
47, Zhonghua Road, Fuxin city 123000, Liaoning Province, China
email: ltw821219@163.com

⁴National University of Science and Technology «MISIS»
6, Leninsky Prospekt, Moscow 119049, Russia
email: as-bat@mail.ru

⁵Joint-Stock Company «Coal Company "Schuan-Yaschan"»
240, Xinxing st., Schuan-Yaschan 155100, Heiluntang province, China

The method of geodynamic zoning experienced in China three periods of its development: «formation», «development», and «innovation». With the help of this method, the models were created linking the block structures of the crustal tectonic plates and coal minefields. A program for calculating the stress state of the rocks massif was developed, taking into account the data on geodynamic zoning. A model of multifactorial recognition and forecasting of the geodynamical danger was developed. The realization of the geodynamical danger in minefields is assumed to demand elaboration of the special conditions in the bearing massif, that's why the indexes and methods for the estimation of these conditions were determined. For the investigations of the connection between the energy of a rock burst and the size of the massif area involved in this process, the corresponding model was created and the conditions of the outbursts were determined. The effectiveness of the method of the recognizing the areas of the increased geodynamic danger was provided with the examples of the particular mines. For the Yue Jin and Jingxi minefields, the outbursts and rockbursts dangerous, threatened, and non-dangerous areas were identified. The application of the preventive measures for the increasing the geodynamic safety in mining is recommended to have to be based on the results of the forecast.

Key words: method of geodynamic zoning; geodynamical danger; rockburst; blowing; geodynamical conditions; danger forecast; pattern recognition.

О методе геодинамического районирования

В конце 1970-х гг. российские ученые И.М. Батутина и И.М. Петухов разработали и представили метод геодинамического районирования [4]. Основной целью этого метода было районирование участков земной коры по степени геодинамической опасности. Начала складываться новая наука о геодинамических процессах, происходящих в массиве

горных пород в результате взаимодействия природной (геодинамической) и технической систем [3]. В 1980- и 1990-е гг. проводились исследования не только на рудных и угольных удароопасных месторождениях, но и впервые на месторождениях углеводородов, площадках инженерных сооружений, трассах трубопроводов [1, 5]. В 1989 г. метод геодинамического районирования пришел в Китай. Профессора Ляонинского инженерно-техническо-

го университета Дуань Кэсинь и Чжан Хунвэй в сотрудничестве с И.М. Петуховым, И.М. Батугиной проводили исследования по геодинамическому районированию и прогнозу горных ударов сначала на шахтах Бэйпяо [2, 7], а затем и на других месторождениях Китая (Хуа Инань, Пин Диншань, Има, Датун, Хэ Бин, Хэ Ган, Фу Синь, Нань Пяо, Синь Вэнь и др.) [10, 11].

Развитие исследований по геодинамическому районированию в Китае

В развитии исследований по геодинамическому районированию в Китае можно выделить три этапа. На *первом этапе* (с 1989 по 1995 гг.) метод геодинамического районирования только появился в Китае благодаря сотрудничеству с российским институтом горной геомеханики ВНИМИ и были выполнены первые исследования на угольных шахтах месторождения Бэйпяо [2, 7]. В это время в Китае началось формирование научной группы по исследованию геодинамического состояния месторождений и этот период можно назвать ранним в становлении метода геодинамического районирования в Китае.

На *втором этапе* (с 1996 по 2005 гг.) в Ляонинском инженерно-техническом университете был создан центр исследований по геодинамическому районированию, и этот период можно назвать зрелым в развитии метода геодинамического районирования в Китае. На основе данного метода разрабатывались программы по распознаванию образов для шахтных полей, опасных по геодинамическим явлениям. Использование алгоритмов распознавания позволило выявлять для шахтных полей опасные, угрожаемые и безопасные районы, повысить уровень регионального прогноза геодинамических опасностей, обеспечить более безопасную добычу угля. В это время были выполнены важные государственные проекты «Региональный прогноз опасности выбросов угля и газа на месторождения Хуа Инань», «Региональный прогноз и борьба с выбросами угля и газа месторождения Хэ Бин» и др. Метод геодинамического районирования вошел в общую программу борьбы с горными ударами [6, 9, 13, 15].

На *третьем этапе* (с 2006 по 2015 гг.) была создана исследовательская группа по инновационному развитию метода геодинамического районирования для исследования вопросов геодинамики и геодинамических условий на шахтах. На этом этапе получены оценки геодинамического состояния горного массива и показатели геодинамической опасности, метод геодинамического районирования нашел широкое применение на угольных шахтах в Китае для прогноза и борьбы с горными ударами. Были выполнены работы на опасных месторождениях Има, Пин Диншань и многих других [8, 12, 14].

Развитие и инновация геодинамического районирования в Китае

Для того, чтобы произошло геодинамическое явление необходимо выполнение соответствующих геомеханических условий, которые зависят от ряда факторов. На разных месторождениях, в различных структурных условиях, в различных техногенных и природных полях напряжений геодинамические события имеют схожие черты. Хотя точно предсказать время, место и силу динамических явлений очень трудно, но тем не менее можно дать прогноз возможности (вероятности) появления события по месту.

На основе исследования районов возникновения геодинамических явлений был разработан метод оценки геодинамического состояния окружающего массива и показатели для соответствующей оценки его динамической опасности, а также показатели для оценки опасности внешнего воздействия на такой массив. Была создана модель, включающая данные о свойствах углей и горных пород, позволяющая обосновать критерий неустойчивости динамической системы и выяснять механизм появления геодинамической опасности.

Практика ведения горных работ показывает, что возникновение опасных динамических явлений (горных ударов, внезапных выбросов) зависит от результатов совместного влияния геодинамических условий месторождения и характера ведения горных работ. Геодинамическая обстановка — необходимое условие возникновения опасных динамических явлений, а горные работы — достаточное условие.

Геодинамические факторы включают глубину добычи, тектонические поля напряжений, тектонические движения блоков, наличие активных разломов, свойства вмещающих пород, обстановку возникновения опасных динамических явлений на соседних участках шахтного поля (рис. 1). Участок относится к опасному по проявлению динамических явлений, если для трёх или более факторов достигаются критические значения.

Разделение района исследований на элементы, необходимые для использования метода распознавания образов, проводилось на основе результатов исследований по геодинамическому районированию. С помощью изучения связи факторов, влияющих на опасность проявления динамических явлений, разработана модель для их регионального прогноза и установлен вероятностный критерий прогноза опасности. Анализ пространственных данных позволил разработать схему прогноза вероятности проявления опасных динамических явлений с выявлением трех категорий опасности для участков шахтного поля: опасный, угрожаемый и безопасный. Это существенно повышает качество прогноза и способствует безопасной отработке угольных пластов.

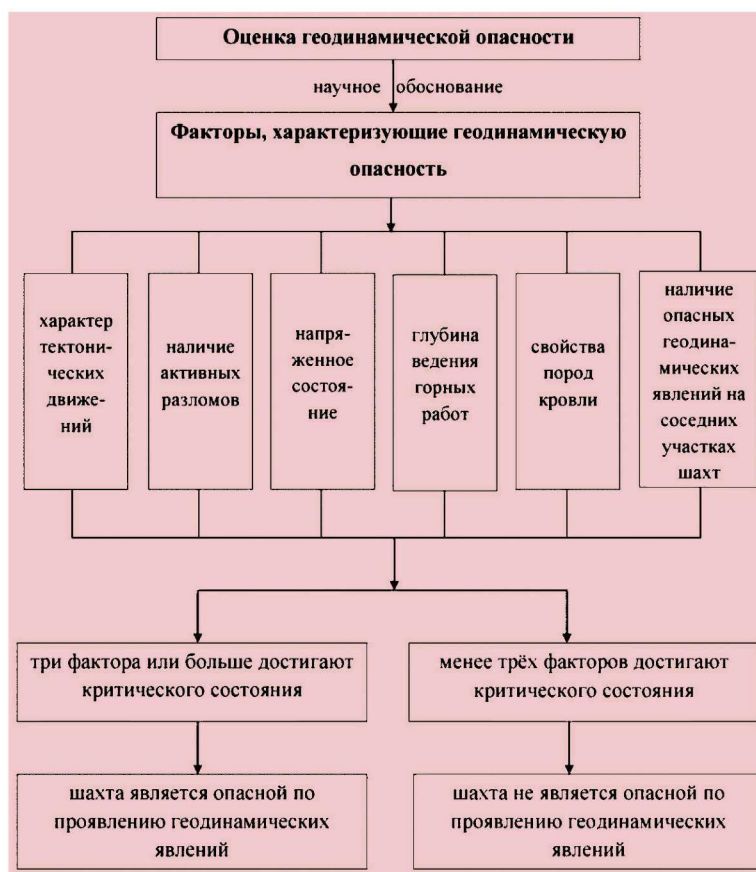


Рис. 1. Система показателей для оценки геодинамических условий

Разработка метода распознавания опасных участков по проявлению динамических явлений с научной точки зрения внесла свой вклад в развитие теории метода геодинамического районирования. С практической точки зрения это позволило повысить эффективность прогноза и впервые в Китае осуществить разделение шахтного поля на участки трёх категорий опасности.

Примеры применения метода геодинамического районирования в Китае

Исследования по прогнозу опасности внезапных выбросов угля и газа проводились на угольной шахте Юэ Цзинь. Для этой шахты выделены четыре основных фактора, влияющих на степень геодинамической опасности: наличие активных разломов, напряженное состояние горных пород, свойства пород кровли и выброшенный объём газа. На основе анализа данных об имевших место внезапных выбросах на этой шахте, в качестве критерия разделения участков на опасные, угрожаемые и безопасные были выбраны значения вероятности проявления внезапного выброса равные $K_{вв}$ 0,63 и $K_{вв}$ 0,32. Соответственно в пределах шахтного поля по результатам прогноза выделены три типа участков. Относительно неглубокая часть шахтного поля

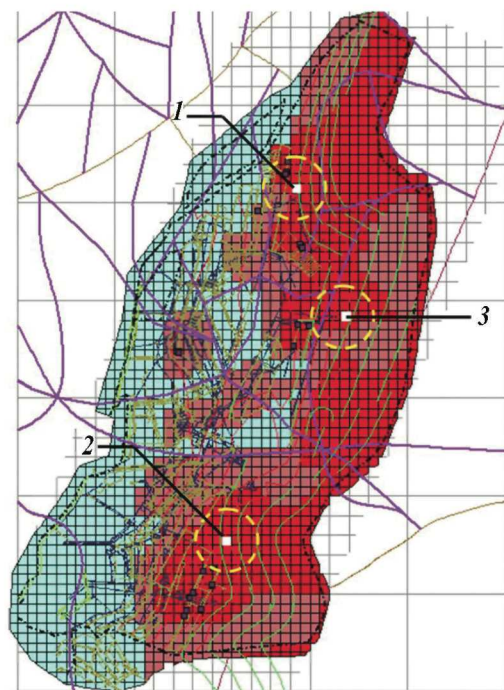


Рис. 2. Очаги внезапных выбросов угля и газа (1–3) расположенные в районах, для которых прогнозом установлена категория «опасно» (красный цвет)

Данные о внезапных выбросах угля и газа на шахте в период 2006—2008 гг.				
Номер п.п.	Дата	Место	Категория участка	Дополнительные сведения
1	06.03.2006	Забой 3402	Опасный	
2	17.06.2006	Забой 3105	То же	Выброшено 30 т угля
3	13.10.2008		"—"	Выброшено 400 т угля и 51583 м ³ газа

с $K_{вс} < 0,32$ была отнесена к безопасной, к угрожаемой области отнесены участки в пределах $0,32 < K_{вс} < 0,63$, а относительно глубокая часть шахтного поля отнесена к опасной — $0,62 < K_{вс} < 1,0$.

По данным наблюдений в 2006—2008 гг. на шахте произошло три внезапных выброса угля и газа, все они зафиксированы на участках шахтного поля, отнесённых по данным прогноза к категории «опасный» (рис. 2, таблица). Этот пример имел большое значение для проведения в дальнейшем профилактических мероприятий в опасных районах.

Аналогичные исследования, но уже по выявлению категории опасности участков шахтного поля по горным ударам, проведены на шахте Джинси. Здесь в качестве критерия разделения участков на опасные, угрожаемые и безопасные по горным ударам были выбраны значения вероятности $K_{гв}$ проявления горных ударов — $K_{гв} = 0,66$ и $K_{гв} = 0,43$. В пределах шахтного поля по результатам прогноза выделены три типа участков. К опасному району отнесены области, заполненные ячейками с вероятностью $K_{гв}$ проявления горного удара $0,66 < K_{гв} < 1,0$. К районам среднего уровня опасности (угрожаемые) отнесены области со значениями вероятности проявления горных ударов в диапазоне $0,43 < K_{гв} < 0,66$. К неопасному району — области с вероятностью проявления горных ударов $< 0,43$. Площадь опасного района по проявлению горных ударов составила 29% от общей площади шахтного поля, площадь района со средним уровнем опасности — 35% и площадь неопасного района — 36% (рис. 3).

Для опасных районов рекомендуется заблаговременное применение региональных профилактических мероприятий и планирование применения локальных профилактических мероприятий. Здесь необходим усиленный контроль за текущим определением степени опасности горных ударов во время ведения горных работ. Для района среднего уровня опасности необходимо применять ограниченные профилактические мероприятия, но в то же время контролировать достигаемый эффект. В неопасных по горным ударам районах горные работы можно вести без профилактических мероприятий, но при этом осуществлять контроль опасности.

Выводы

1. Метод геодинамического районирования в Китае прошёл три периода своего развития, которые можно назвать «становление», «развитие» и «инновации». На основе данного метода разрабо-

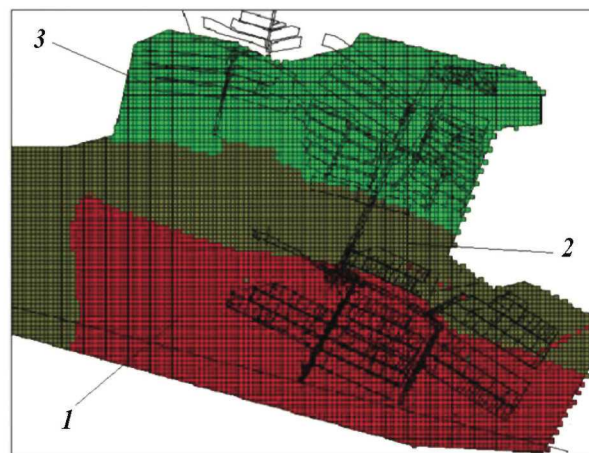


Рис. 3. Результаты прогноза опасности горных ударов на шахте Джинси: 1 — опасный район; 2 — район среднего уровня опасности; 3 — безопасный район

таны программа аналитического расчёта напряжённого состояния массива горных пород и программа GIS многофакторного распознавания образов для прогноза мест проявления геодинамически опасных явлений при ведении горных работ.

2. Разработана модель и метод оценки геодинамического состояния горного массива на основе учёта влияющих факторов, что используется для решения вопросов прогноза и борьбы с горными ударами и внезапными выбросами на угольных шахтах в Китае.

3. Методом распознавания образов с использованием разработанной модели оценки геодинамической опасности возможно выявление в пределах шахтных полей участков различной степени геодинамической опасности («опасный», «угрожаемый», «неопасный»), что имеет большое значение для повышения точности прогноза геодинамических явлений и планирования профилактических мероприятий по безопасности.

Работа выполнена при поддержке: Фонда национальных естественных наук КНР (51604139); Открытого исследовательского фонда государственной лаборатории безопасной добычи угольных ресурсов Китайского горного университета КНР (SKLCRSM18KF000); Фонда Государственного важнейшего исследовательского и планового проекта КНР (2017YFC0804209); Фонда отдела народного образования провинции Ляонин КНР (LJYL037); Открытого исследовательского фонда лаборатории безопасной добычи и утилизации угля провинции Ляонин КНР (LNTURCCRSMCU15KF09).

ЛИТЕРАТУРА

1. Батугин А.С., Батугина И.М., Болотный Р.А. К оценке геодинамического риска в мегаполисах // ГИАБ. 2013. № 6. С. 141–143.
2. Батугина И.М., Петухов И.М., Батугин А.С. и др. О геодинамическом районировании месторождения Бейпiao // Доклады 2-го Международного симпозиума по современным технологиям добычи угля. Фусин. (КНР), 1993. С. 274–277. (Китай).
3. Батугина И.М., Петухов И.М. Геодинамическое районирование месторождений при проектировании и эксплуатации рудников. М.: Недра, 1988. 166 с.
4. Методические указания по профилактике горных ударов с учётом геодинамики месторождений. Л.: ВНИМИ, 1980. 138 с.
5. Петухов И.М., Батугина И.М. Геодинамика недр. М.: Недра, 1996. 218 с.
6. Dou Linming, He Xueqiu. Monitoring rock burst by electromagnetic emission // Progress in Geophysics. 2005. 20(2): P. 427–431.
7. Duan Kexin, Zhang Hongwei, Peitukhof I.M. et al. Geodynamic division of Beipiao mining area and study on the prediction of mining dynamic phenomenon // Research Report, 1989. 192 p.
8. Lan Tianwei, Su Guangfu Han Jun, et al. Prediction of coal and gas outburst based on geodynamic division // China Safety Science Journal, 2010, 20(3). P. 46–50.
9. Qi Qingxin, Dou Linming. Theory and technology on mine pressure bumping. Xuzhou // China university of mining and technology, 2007. 15 p.
10. Zhang Hongwei, Batugina I.M. et al. Geodynamic division of coal and gas outburst regional prediction in Huainan mining area and visualization technology // Research Report, 2001. 100 p.
11. Zhang Hongwei, Duan Kexin, Zhang Jianguo, et al. Study on the regional prediction of mining dynamic phenomenon // Journal of China Coal Society. 1998. 42(4). P. 383–387.
12. Zhang Hongwei, Li Sheng, et al. Coal mine geodynamic division and study on the prediction of gas accident // Research Report, 2004. 120 p.
13. Zhang Hongwei, Li Sheng. Pattern recognition and possibility prediction of coal and gas outburst // Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24 (19): pp. 3577–3581.
14. Zhang Hongwei, Song Weihua, et al. Coal mine geodynamic division // Research Report, 2011. 87 p.
15. Zhang Mengtao, Song Weiyan, Pan Yishan. Study on water pouring into coal seam to prevent rock-burst // China Safety Science Journal, 2003. 13(10). P. 69–73.

REFERENCES

1. Batugin A.S., Batugina I.M., Bolotniy R.A. To the assessment of geodynamic risk in megacities. *Mining Information and Analytical Bulletin*, 2013, no 6, pp. 141–143. (In Russian).
2. Batugina I.M., Petukhov I.M., Batugin A.S., et al. On geodynamic zoning of Beipiao deposits. *Proceedings of the 2nd international Symposium on modern coal mining technologies*. China, Fuxin Publ., 1993, pp. 274–277. (In China).
3. Batugina I.M., Petukhov I.M. *Geodynamic zoning of mineral deposits for planning and exploitation of mines*. New Delhi: Oxford & IBH Publishing Co. Pvt. Ltd., 1990. 159 p. (Russ. ed.: Batugina I.M., Petukhov I.M. *Geodynamic zoning of mineral deposits for planning and exploitation of mines*, Moscow, Nedra Publ., 1988. 166 p. (In Russian).
4. *Geodynamic of the Earth Interior. Methodical instructions on the prevention of rockbursts taking into account the geodynamic conditions of deposits*. Leningrad, VNIMI, 1990. 138 p. (In Russian).
5. Petukhov I.M., Batugina I.M. *Geodynamic of the Earth Interior*. M., Nedra Publ., 1996. 218 p. (In Russian).
6. Dou Linming, He Xueqiu. Monitoring rock burst by electromagnetic emission. *Progress in Geophysics*, 2005, vol. 20, no 2, pp. 427–431.
7. Duan Kexin, Zhang Hongwei, Petukhof I.M., et al. Geodynamic division of Beipiao mining area and study on the prediction of mining dynamic phenomenon. *Research Report*, 1989. 192 p.
8. Lan Tianwei, Su Guangfu Han Jun et al. Prediction of coal and gas outburst based on geodynamic division. *China Safety Science Journal*, 2010, vol. 20, no 3, pp. 46–50.
9. Qi Qingxin, Dou Linming. *Theory and technology on mine pressure bumping*. Xuzhou: China university of mining and technology, 2007, 15 p.
10. Zhang Hongwei, Batugina I.M. et al. Geodynamic division of coal and gas outburst regional prediction in Huainan mining area and visualization technology. *Research Report*, 2001, 100 p.
11. Zhang Hongwei, Duan Kexin, Zhang Jianguo et al. Study on the regional prediction of mining dynamic phenomenon. *Journal of China Coal Society*, 1998, vol. 42, no 4, pp. 383–387.
12. Zhang Hongwei, Li Sheng, et al. Coal mine geodynamic division and study on the prediction of gas accident. *Research Report*, 2004, 120 p.
13. Zhang Hongwei, Li Sheng. Pattern recognition and possibility prediction of coal and gas outburst. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2005, vol. 24 no 19, pp. 3577–3581.
14. Zhang Hongwei, Song Weihua et al. Coal mine geodynamic division. *Research Report*, 2011, 87 p.
15. Zhang Mengtao, Song Weiyan, Pan Yishan. Study on water pouring into coal seam to prevent rock-burst. *China Safety Science Journal*, 2003, vol. 13, no 10, pp. 69–73.