

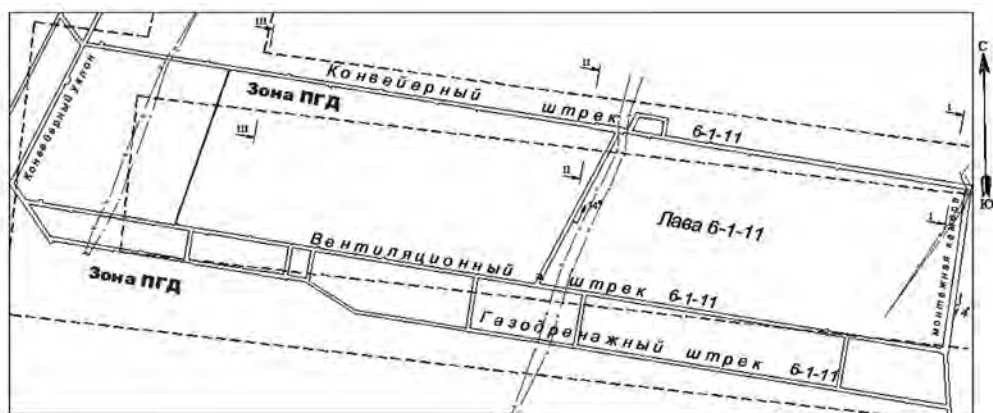
**В.А. Волошин, С.В. Риб, В.Н. Фрянов, А.А. Черепов**  
**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОН**  
**ПОВЫШЕННОГО ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ**  
**ПОД ВЛИЯНИЕМ УГОЛЬНОГО ЦЕЛИКА-ШТАМПА**  
**ПРИ ОТРАБОТКЕ СВИТЫ ПЛАСТОВ**

Обоснована актуальность исследований по выявлению закономерностей формирования зон повышенного горного давления (ПГД) при разработке угольных месторождений в условиях шахт южного Кузбасса, которые характеризуются повышенной удароопасностью. Решена задача численного моделирования методом конечных элементов напряженно-деформированного состояния геомассива с оценкой соответствия прогнозируемых параметров фактическим. Установлено, что предлагаемый для использования комплекс компьютерных программ кроме качественного соответствия параметров зон ПГД способен определять количественные параметры в этих зонах, в т.ч. коэффициент концентрации вертикальных напряжений. На втором этапе работы проведен анализ изменения напряженно-деформированного состояния в окрестности конвейерного штрека 6-1-11. На основе анализа результатов моделирования разработаны рекомендации и мероприятия по приведению в безопасное состояние горного массива для предотвращения геодинамических явлений. *Ключевые слова:* горный массив, напряженно-деформированное состояние, численное моделирование, метод конечных элементов, комплекс программ, повышенное горное давление, целик, угольный пласт.

**В** условиях шахт южного Кузбасса угольные месторождения характеризуются повышенной удароопасностью, что приводит к возникновению геодинамических явлений и аварийных ситуаций при ведении работ на сближенных пластах в зонах повышенного горного давления (ПГД). Рекомендуются методическими документами ВНИМИ параметры зон ПГД не всегда совпадают с реальными, т.е. иногда возникают ситуации, в которых при полном соблюдении требований этих документов возникают условия, способствующие возникновению горных ударов.

В этой связи возникает актуальная научно-практическая задача выявления закономерностей формирования зон ПГД с целью обоснования рекомендаций и мероприятий при ведении работ в сложной горнотехнической ситуации.

В настоящей работе решена задача численного моделирования методом конечных элементов напряженно-деформированного состояния (НДС) геомассива с оценкой соответствия прогнозируемых параметров фактическим, что позволит повысить надежность прогноза не только в условиях проведенного эксперимента, но и в аналогичных ситуациях. Для решения двумерной задачи механики горных пород адаптирован к условиям ООО «Шахта «Алардинская» вариант комплекса программ CoalPillar [1]. Формирование исходных данных осуществлялось по методике, представленной в работе [2]. На ООО «Шахта «Алардинская» в работе находятся два угольных пласта. Верхний пласт 3-За мощностью 4,25–5,60 м имеет сложное строение. Ниже пласта 3-За залегает пласт 6 со средней мощностью 9,5 м.

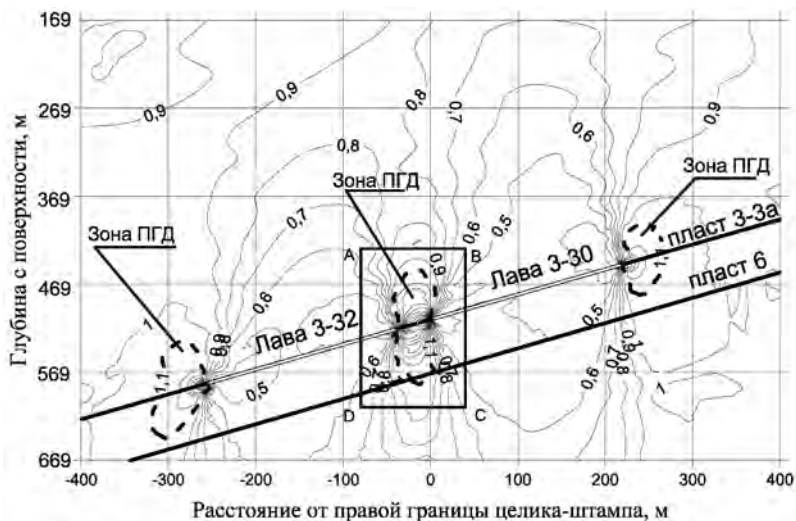


**Рис. 1. Выкопировка из плана горных выработок по пласту 6**

Вынимаемая мощность пласта 4,5 м, коэффициент крепости угля по шкале проф. М.М. Протодяконова  $f = 1,5$ . Непосредственная кровля пласта 6 представлена песчаником разнозернистым с коэффициентом крепости  $f = 8-9$ . Угол падения пластов составляет  $14-16^\circ$ . На пласте 6 ведутся очистные работы на выемочном участке 6-1-11, который оконтурен штреками: вентиляционным 6-1-11 и конвейерным 6-1-11. На пласте 3-За после отработки выемочных участков

3-30 и 3-32 оставлен целик-штамп, влияние которого испытывает конвейерный штрек 6-1-11 (рис. 1).

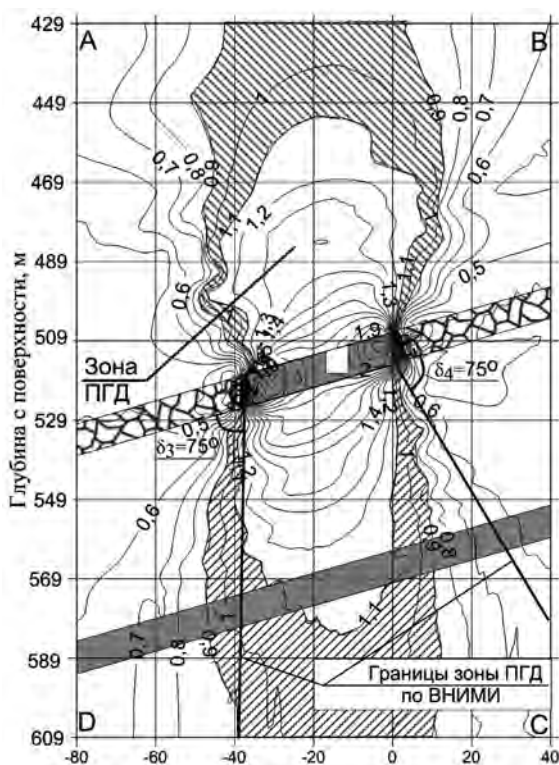
Работа выполнялась в два этапа. На первом этапе проведена оценка соответствия результатов расчета по разработанному алгоритму численного моделирования инструкциям ВНИМИ [3] по прогнозу геодинамических явлений и расчету зон ПГД от оставленных целиков-штампов угля между выработанным пространством выемочных участков 3-30 и 3-32 на верхнем пласте 3-За.



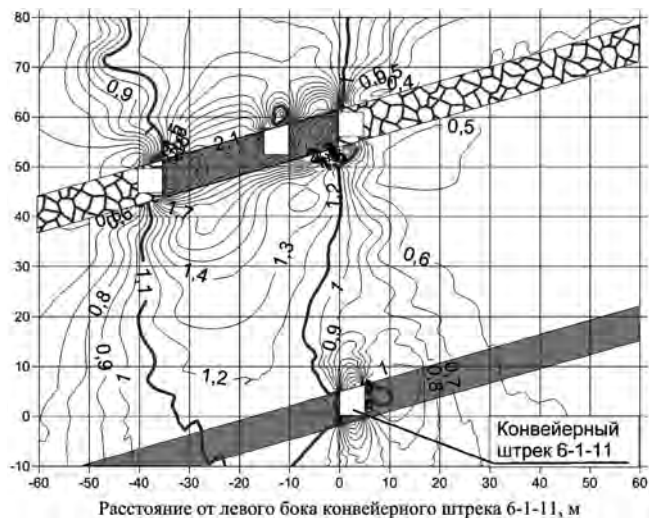
**Рис. 2. Коэффициент концентрации вертикальных напряжений, вариант до начала работ на пласте 6; Зона ПГД – зона повышенного горного давления**

Проведено моделирование напряженно-деформированного состояния углепородного массива в окрестности конвейерного штрека 6-1-11 и угольного целика-штампа на пласте 3-3а. По результатам моделирования построены зоны ПГД от целика угля (рис. 2).

По величине коэффициента концентрации вертикальных напряжений  $K_k = 1,1$  приняты границы зоны ПГД (жирная пунктирная линия). На основе многолетних исследований установлено, что погрешность моделирования по напряжениям в геомассиве составляет  $\pm 10\%$ . Соответственно, на рис. 2 вероятная зона погрешности выделена штриховкой. Границы этой зоны ограничены углами защиты  $75-90^\circ$ . Согласно «Инструкции по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих угольные пласты, склонные к горным ударам» [3] углы  $\delta_3$  и  $\delta_4$  должны быть равными  $75^\circ$ , т.е. выявлено соответствие расчетных и регламентированных инструкцией [3] границ зон ПГД. Однако, предлагаемый для использования пакет компьютерных программ кроме качественного соответствия параметров зон ПГД способен определять количественные параметры в этих зонах, в т.ч. коэффициент концентрации вертикальных напряжений. В этом заключается существенное преимущество предлагаемой методики.

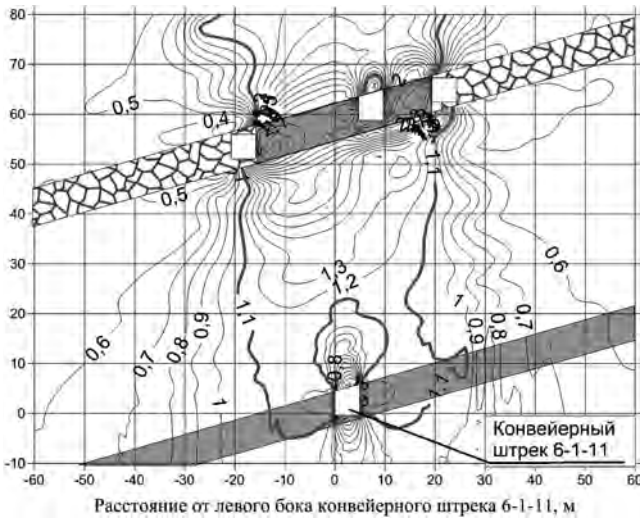


**Рис. 3. Коэффициент концентрации вертикальных напряжений, вариант до начала работ на пласте 6, область ABCD на рис. 2**

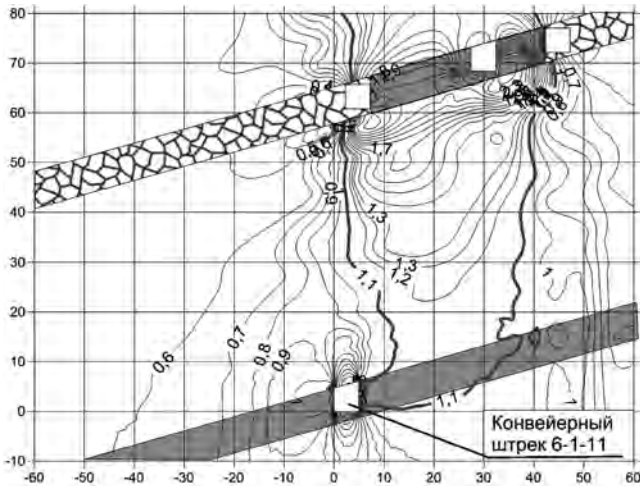


**Рис. 4. Коэффициент концентрации вертикальных напряжений, базовый вариант при расположении конвейерного штрека 6-1-11 под правой границей целика-штампа по сечению I-I на рис. 1**





**Рис. 5. Коэффициент концентрации вертикальных напряжений при расположении конвейерного штрека 6-1-11 под серединой целика-штампа по сечению II-II на рис. 1**



**Рис. 6. Коэффициент концентрации вертикальных напряжений под левой границей целика по сечению III-III на рис. 1**

На втором этапе работы проводилась оценка геомеханического состояния конвейерного штрека 6-1-11 в процессе эксплуатации выемочного участка.

Проведен анализ изменения напряженно-деформированного состоя-

ния в окрестности конвейерного штрека 6-1-11. На рис. 3 показано, что конвейерный штрек относительно контура зоны ПГД от целика-штампа, оставленного на пласте 3-3а расположен диагонально.

На рис. 4 показано распределение коэффициента концентрации вертикальных напряжений в окрестности конвейерного штрека 6-1-11 вне зоны влияния очистного выработанного пространства выемочного столба 6-1-11 пласта 6.

На рис. 5 и 6 показано изменение напряженно-деформированного состояния массива горных пород в окрестности конвейерного штрека 6-1-11 по мере подвигания очистного забоя к монтажной камере и при разном пространственном положении осей ленточного целика пласта 3-3а и конвейерного штрека 6-1-11.

Ситуация осложняется при приближении выработки (конвейерного штрека 6-1-11) к середине оставленного целика угля на пласте 3-3а, так как ось конвейерного штрека 6-1-11 относительно оси угольного целика-штампа на пласте 3-3а расположена диагонально (рис. 1).

На основе анализа результатов моделирования по характерным сечениям ( I-I, II-II, III-III) разработаны рекомендации и мероприятия по приведению в безопасное состояние горного массива для предотвращения геодинамических явлений. В зоне влияния очистных работ по мере подвигания комплексно-

механизированного забоя 6-1-11 ситуация ухудшается, и требуется дополнительно возведение крепи усиления. Так как в почве штрека выявлена зона разгрузки и переход сжимающих напряжений к растягивающим, то ожидается интенсивное пучение нижней пачки пласта 6.

При исследовании влияния очистного забоя на напряженно-деформированное состояние горных пород вокруг выработки при нахождении конвейерного штрека 6-1-11 на границе оставленного целика на пласте 3–3а коэффициент концентрации вертикальных напряжений превышает показатель вне зоны влияния очистных работ в 1,5–1,7 раза (рис. 6).

После сравнения расчетных и прогнозируемых размеров зон ПГД подтвердилась удовлетворительная качественная сходимости результатов расчетно-графического метода построения зон ПГД по Инструкции ВНИМИ и результатов численного моделирования этапов отработки выемочного участка 6-1-11 при взаимном влиянии выработок пластов 3–3а и 6 по шахте «Алардинская».

В ходе проведения работ по ситуационному моделированию условий поддержания конвейерного штрека 6-1-11 в существующих горно-технических условиях, при дальнейшей отработке выемочного участка 6-1-11, установлено, что решения, предусмотренные в утвержденной проектной документации, не обеспечивают устойчивость конвейерного штрека 6-1-11 в течение всего периода отработки выемочного столба 6-1-11.

Для предотвращения негативных проявлений горного давления (горные удары, толчки, стрельания, разрушение почвы и боков выработки и т.д.), в зоне повышенного горного давления от оставленных целиков-штампов угля между выработанным пространством выемочных участков 3–30 и 3–32,

с учетом опыта работ в аналогичных условиях на горных предприятиях Кузбасса [4] и «Инструкции по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих угольные пласты, склонные к горным ударам» [3], необходимо реализовать ряд организационно-технических мероприятий, включающих в себя нижеследующее:

1. Необходимо, для организации стабильной и безопасной работы лавы 6-1-11 с нагрузками 4500–9500 т/сут максимально исключить использование конвейерного штрека 6-1-11, подвергающегося пучению пород почвы из производственного цикла, так как напряжения в пласте 6 в окрестности конвейерного штрека 6-1-11 в 1,5–2 раза превышают предел прочности угля. Конвейерный штрек 6-1-11 предлагается использовать только для подачи в очистной забой 6-1-11 свежего воздуха и ограниченного передвижения людей, что и было реализовано на шахте.

2. При любых вариантах расположения дополнительно проводимых выработок в качестве нового конвейерного штрека лавы 6-1-11, потребуются значительные дополнительные затраты материальных ресурсов и времени, в т.ч. на поддержание новых выработок.

В сложившейся ситуации предложено для обеспечения безопасной работы лавы 6-1-11 в плановом режиме перенос участковой конвейерной линии на вентиляционный штрек 6-1-11.

3. С целью снижения вероятности возникновения динамических явлений и поддержания минимального сечения конвейерного штрека 6-1-11, необходимо заблаговременно проводить профилактические мероприятия по разгрузке угольного массива.

С учетом апробированных способов разгрузки угольных пластов [5] и накопленного положительного опыта на ООО «Шахта «Алардинская», для

приведения выработок выемочного участка 6-1-11 в зонах ПГД в неудароопасное состояние рекомендуется бурение скважин диаметром 250 мм с помощью буровых агрегатов типа АБГ-300.

За счет увеличения податливости целиков угля между скважинами и релаксации напряжений произойдет разгрузка угольного массива в пределах защитной зоны в конвейерном штреке 6-1-11, т.е. снизится вероятность накопления упругой энергии в краевой части угольного пласта за счет перераспределения горного давления вглубь массива. Указанные мероприятия обеспечат сохранение устойчивости боков выработки, снизят давление на почвенный слой угля и пучение почвы в конвейерном штреке 6-1-11. При расчете расстояний между осями разгрузочных скважин рекомендуется использовать вычисленный методом конечных элементов коэффициент концентрации вертикальных напряжений (рис. 4, 5, 6).

4. Заблаговременное бурение разгрузочных скважин для приведения угольного пласта в окрестности конвейерного штрека в неудароопасное

состояние рекомендуется проводить с опережением зоны опорного давления от лавы 6-1-11 на расстоянии  $L > 105$  м. Заблаговременная разгрузка массива нужна для релаксации предельных напряжений в угольном пласте.

Таким образом, предлагаемый подход к прогнозу параметров зон ПГД с использованием численного моделирования методом конечных элементов повысит надежность оперативного прогноза влияния осложняющих факторов (наличие в межлавленном целике на пласте 3–3а дополнительных выработок) в изменяющейся горнотехнической ситуации.

Для повышения надежности прогноза состояния всех выработок в пределах новых выемочных участков и выбора мероприятий необходимо:

- выполнять моделирование геомеханической ситуации на стадии разработки паспорта выемочного участка с предварительным тестированием результатов расчетов по нормативным документам;
- разрабатывать технологические решения, адаптивные к условиям проектируемого участка, для обеспечения промышленной безопасности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Риб С.В., Басов В.В., Никитина А.М., Борзых Д.М. Численное моделирование геомеханического состояния неоднородных угольных целиков методом конечных элементов / Научное издание «Технологии разработки и использования минеральных ресурсов»: сб. науч. ст. – Новокузнецк, 2014. – С. 123–128.

2. Риб С.В., Басов В.В. Методика подготовки исходных данных для решения двумерных задач численного моделирования неоднородных угольных целиков // Вестник СибГИУ. – 2014. – № 4. – С. 11–13.

3. Инструкция по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих угольные пласты, склонные к горным ударам [Электронный ресурс]: федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. – Электрон. версия. – СПб.: ВНИМИ,

2013. Режим доступа: <http://www.vnimi.ru/library.php> (дата обращения: 02.04.2015).

4. Иванов А.А. Исследование влияния зон опорного горного давления при отработке свит угольных пластов / Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2004: Материалы X Междунар. науч.-пр. конф. – Кемерово: ГУ КузГТУ, 2004. – С. 133–136.

5. Харкевич А.С. Опыт борьбы с удароопасностью угольных пластов в современных условиях и применяемых технологий угледобычи с использованием системы непрерывных инструментальных наблюдений / Сборник научных трудов ВНИМИ. Посвящен 100-летию юбилею выдающегося горного инженера Б.Ф. Братченко / Отв. ред. Д.В. Яковлев. – СПб.: ВНИМИ, 2012. – С. 78–96. **ИИАС**

Волошин Владимир Анатольевич<sup>1</sup> – кандидат технических наук, доцент,  
e-mail: voloshinva1966@gmail.com,

Риб Сергей Валерьевич<sup>1</sup> – старший преподаватель, e-mail: seregarib@yandex.ru,

Фрянов Виктор Николаевич<sup>1</sup> – доктор технических наук, профессор,  
зав. кафедрой, e-mail: fryanov@sibsiu.ru,

Черепов Андрей Александрович – технический директор,

АО «Распадская угольная компания», e-mail: Andrey.Cherepov@evraz.com,

<sup>1</sup> Сибирский государственный индустриальный университет.

---

UDC 622.831

### DEVELOPMENT OF ZONES OF HIGH ROCK PRESSURE UNDER THE INFLUENCE OF COAL PILLAR-STAMP WORKING OUT SERIES OF SEAMS

Voloshin V.A.<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,  
e-mail: voloshinva1966@gmail.com,

Rib S.V.<sup>1</sup>, Senior Lecturer, e-mail: seregarib@yandex.ru,

Fryanov V.N.<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: fryanov@sibsiu.ru,

Cherepov A.A., Technical Director, JSC «Raspadskaya Coal Company», 654007, Novokuznetsk, Russia,  
e-mail: Andrey.Cherepov@evraz.com,

<sup>1</sup> Siberian State Industrial University, 654007, Novokuznetsk, Russia.

---

*In this paper, the urgency of research to identify patterns of formation of zones of high rock pressure (HRP) in the development of coal deposits in mines Southern Kuzbass, which are characterized by increased rockbursts. Solved the problem of numerical simulation by finite element method of stress-strain state geomassiva conformity assessment projected actual parameters. To solve the two-dimensional problem of rock mechanics adapted to the conditions of "Mine" Alardinskaja "version of the complex programs CoalPillar. The influence of the pillar-stamp left on the top seam 3–3a after mining excavation sites 3–30 and 3–32 on the conveyor drift 6-1-11, located on the bottom seam 6. At the first stage of the work carried out conformity assessment of the results of calculations for The algorithm of computational modeling instructions VNIMI forecast geodynamic phenomena and calculation of areas of abandoned pillars-stamps. It is found that the proposed use for complex computer programs except the quality of conformity zone settings HRP is able to determine the quantitative parameters in these areas, including concentration ratio of vertical stresses. At the second stage of the analysis of stress-strain state in the vicinity of the conveyor drift 6-1-11. Based on the analysis of simulation results and recommendations are designed to bring the event to a safe condition to prevent massif geodynamic phenomena. The proposed approach to the forecast zone settings HRP using numerical simulation by finite element method will increase the reliability of real-time forecasting the impact of confounding factors (presence guarding pillar on the formation of additional workings 3–3a) in a changing mine technical situation.*

*Key words: rock mass, stress-strain state, numerical modeling, finite element method, program complex, high rock pressure, pillar, coal seam.*

#### REFERENCES

1. Rib S.V., Basov V.V., Nikitina A.M., Borzykh D.M. *Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispol'zovaniya mineral'nykh resursov: sbornik nauchnykh statei* (High technologies in mineral mining and use: Collection of scientific papers), Novokuznetsk, 2014, pp. 123–128.

2. Rib S.V., Basov V.V. *Vestnik SibGIU*. 2014, no 4, pp. 11–13.

3. *Instruktsiya po bezopasnomu vedeniyu gornyykh rabot na shakhtakh, razrabatyvayushchikh ugol'nye plasty, sklonnye k gornym udaram: federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoi bezopasnosti* (Guidelines on safety of rockburst-hazardous coal mining: Federal standards and regulations on industrial safety), Saint-Petersburg, VNIMI, 2013, available at: <http://www.vnimi.ru/library.php> (accessed: 02.04.2015).

4. Ivanov A.A. *Prirodnye i intellektual'nye resursy Sibiri. Sibresurs 2004: Materialy Kh Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* (Natural resources and brainpower of Siberia. Sibresource 2004: Proceedings of X International Conference), Kemerovo, GU KuzGTU, 2004, pp. 133–136.

5. Kharkevich A.S. *Sbornik nauchnykh trudov VNIMI. Posvyashchen 100-letnemu yubileyu B.F. Bratchenko*. Otv. red. D.V. Yakovlev (VNIMI collection of scientific papers. For 100th Anniversary of B.F. Bratchenko. Yakovlev D.V. (Ed.)), Saint-Petersburg, VNIMI, 2012, pp. 78–96.