

О РОЛИ ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОЦЕНКЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РАЗРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

А.С. Батугин
НИТУ «МИСиС»

Аннотация: Приведены результаты оценки палео и современного поля напряжений в районе шахтного поля Ленинск-Кузнецкого района Кузбасса методами тектонофизики. Показано, что поле напряжений, фиксируемое по характеру распределения векторов смещения на мелких шахтных дизъюнктивах, соответствует полю напряжений более высокого ранга, фиксируемому по вторичным подвижкам по более крупным разрывам шахтного поля. В свою очередь, эти поля напряжений соответствуют современному полю напряжений, фиксируемому по характеру смещения элементов рельефа региональным Виноградовским взбросом. Делается вывод, что различные тектонофизические методы анализа нарушенности для условий шахтных полей Ленинск-Кузнецкого района Кузбасса дают близкие сопоставимые результаты, что позволяет использовать самые простые из них при недостатке данных. Имеется соответствие между палео и современным полем напряжений, что позволяет использовать результаты тектонофизического анализа для геомеханических оценок и выбора мест для первоочередного проведения мероприятий по предварительной дегазации массива. Предварительная дегазация создает условия для безопасной интенсивной разработки угольных пластов и облегчает утилизацию шахтного метана. Утилизация метана угольных пластов способствует снижению воздействия горного предприятия на окружающую среду, улучшает геоэкологическую ситуацию в регионе.

Ключевые слова: тектонофизический анализ, напряженное состояние, активные разломы, угольная шахта, интенсивная отработка, дегазация массива, безопасность, геоэкология.

Для цитирования: Батугин А.С. О роли тектонофизических исследований в оценке промышленной и геоэкологической безопасности разработки угольных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 2–1. – С. 241–250. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-241-250.

On the role of tectonophysical studies in the assessment of industrial and geoecological safety of coal field development

A.S. Batugin
NUST «MISIS», Moscow, Russia

Abstract: The paper presents the results of evaluating the paleo- and modern stress fields in the area of the mine field of the Leninsk-Kuznetsk district of the Kuzbass by methods of

tectonophysics. It is shown that the stress field, fixed by the location of the displacement vectors on small local faults, corresponds to a stress field of a higher rank, fixed by secondary displacements on larger faults. In turn, these stress fields correspond to the modern stress field, fixed by the nature of the displacement of the relief elements by the regional Vinogradovsky fault. It is concluded that, different tectonophysical methods of the faults analyzing in the situation of the mine fields in the Leninsk-Kuznetsk region of Kuzbass give close comparable results, which makes it possible to use the simplest of them. Based on the results of a tectonophysical analysis of the faults of mine fields, it is possible to develop methods for the prognostic assessment of the geomechanical state of rock massif and the selection of places for the priority of measures for preliminary it degassing. Preliminary degassing creates conditions for safe intensive mining of coal seams and facilitates the utilization of coal mine methane. Utilization of coalbed methane helps to reduce the impact of the mining on the environment, improves the geo-ecological situation in the region.

Key words: tectonophysical analysis, stress state, active faults, coal mine, intensive mining, massif degassing, safety, geocology.

For citation: Batugin A.S. On the role of tectonophysical studies in the assessment of industrial and geocological safety of coal field development. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(2–1):241-250. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-241-250.

Введение

Развитие современных технологий позволило увеличить добычу угля в России на 24 % за последние 10 лет [1]. Шахты оснащены высокопроизводительным оборудованием, но, как отмечают специалисты, его потенциал используется не более чем на 30 % [2]. Важными сдерживающими факторами интенсивной разработки угольных пластов является их высокая газообильность [3], необходимость глубокой дегазации [4]. Обеспечение промышленной и экологической безопасности при ведении горных работ являются приоритетными для угольных компаний [1], в этой области имеются соответствующие разработки [5–7], ведется подготовка специалистов в ВУЗах [8]. Современные исследования показывают, что при решении задач интенсивного и безопасного ведения горных работ, прогнозирования опасности геодинамических явлений, оценки геомеханического состояния выемочных участков требуется знание напряженного состояния нетронутого массива горных пород [9–11]. Основ-

ная информация о реальном распределении напряжений в массиве после установления факта превышения горизонтальных напряжений над вертикальными [12, 13], получена в настоящее время с помощью инструментальных методов: геомеханических (разгрузка, гидроразрыв), геофизических, геотехнологических [9, 14–16]. Показано, что во многих регионах горизонтальные напряжения, а не вертикальные, являются максимальными. Результаты работ по измерению напряжений привели к пересмотру их учета в геомеханических расчетах. Однако инструментальные методы трудоемки и требуют для своей реализации наличия горных выработок. Последнее обстоятельство во многом обесценивает получаемые результаты, т.к. эти сведения имеют большое значение как раз в период подготовки новых участков к отработке. Методы, основанные на изучении «памяти» пород или их способности раскалываться на диски при бурении скважин, геотехнологические методы не получили пока широкого распространения.

Тем не менее, сам массив горных пород содержит многочисленные индикаторы напряжений и деформаций. Таковыми являются в первую очередь дизъюнктивные нарушения. Тектонофизические методы оценки напряженного состояния массива основаны на анализе распределения трещин и дизъюнктивов в пространстве и смещений по ним. Первоначально тектонофизические методы использовались в геолого-структурных построениях и при анализе палеополей напряжений, существовавших в геологической истории района [17–19]. Их преимущество заключается в том, что напряженное состояние оценивается не в точечной области, а для большого объема горного массива.

Развитие метода геодинамического районирования позволило обозначить подходы для использования методов тектонофизики для оценки современного напряженного состояния массива и решению вопросов прогнозной оценки его геомеханического состояния [20]. В ряде методических документов по геодинамической безопасности предусматривается использование методов тектонофизики для оценки напряженного состояния горного массива [11]. Основной трудностью при их использовании является решение вопроса о соответствии результата современному полю напряжений. В данной статье анализируются подходы к оценке современных полей напряжений методами тектонофизики и оценивается возможность их использования при прогнозе геомеханического состояния выемочных участков.

Метод

В основе большой группы тектонофизических методов реконструкции осей палеонапряжений лежит представление о разрушении однородного изотропного массива по плоскостям

скалывания, отвечающим гипотезе О. Мора. М.В. Гзовским было показано, что при деформировании такого массива возникает пара так называемых сопряженных сколов, связанных с ориентировкой оси максимального сжатия. Отсюда появляется возможность решения обратной задачи: по расположению в пространстве сопряженных сколов найти направление главных напряжений, вызвавших образование данных сколов. Решение задачи облегчается, если использовать дополнительные признаки: направление смещения по сколам или тип возникающих разрывных нарушений (метод Забродина А.С., [19]).

Считается, что применимость методов, разработанных для однородной и изотропной среды, ограничена. Наряду с ними разработаны методы, использующие более сложную модель геологической среды, в которой допускаются смещения по совокупности произвольно ориентированных поверхностей ослабления, например, методы Гущенко О.И., G. Angelier J. [21, 22].

Исходными данными в перечисленных методах являются элементы залегания дизъюнктивов и ориентировка векторов смещения вдоль сместителя. Ориентировка вектора смещения определяется путем измерения штрихов и борозд скольжения на сместителе. При работе на поверхности для проведения измерений можно обойтись только горным компасом [23]. В горных выработках часто работа с компасом затруднена из-за помех от металлических конструкций, труднодоступности обнажений сместителя. Здесь направление падения сместителя может быть установлено по привязкам к точкам маркшейдерских наблюдений, планам горных выработок. Для установления ориентировки вектора смещения транспортиром измеряют угол в плоскости сместителя γ , образованный линией простирания сместителя и штри-

хами скольжения. В лежачем крыле дизъюнктива угол γ измеряют против часовой стрелки, в висячем — по часовой. Направление вектора смещения определяют по специфическим признакам в морфологии штрихов и борозд скольжения [20, 23].

Для установления соответствия восстанавливаемого поля напряжений современному полю напряжений предложено проводить сопоставление результатов тектонофизического анализа с результатами инструментальных измерений [20]. Такой подход используется в методических разработках по геодинамическому районированию [11]. Также для получения характеристик современного поля напряжений предлагается использовать данные о разломах земной коры, активных в настоящее время [24]. К таковым относят границы блоков земной коры, отражаемых на картах геодинамического районирования [20]. Признаком современной активности границ блоков является их характерная выраженность в рельефе земной поверхности.

Методы определения элементов залегания и горизонтальной и вертикальной амплитуд смещений по активным разломам земной коры разрабатывались А.А. Никоновым (1977), В.Г. Трифоновым (1983) и другими учеными. Определение залегания границ блоков проводят по геоморфологическим признакам, изучая асимметрию долин оврагов, ручьев, рек, направление падения крутых склонов, а амплитуды и направление смещений оценивают, изучая смещенные элементы рельефа.

Шахтные и полевые тектонофизические исследования в Ленинск-Кузнецком районе Кузбасса

Тектонофизические исследования на территории Кузбасса имеют свою

историю. В работе А.А. Белицкого делается вывод, что в тектонической структуре бассейна зафиксировано два поля напряжений, обусловленных воздействием на угленосные отложения массивов Салаира (юго-западная ориентировка оси максимального сжатия) и Колывань-Томской складчатой области (северо-западная ориентировка оси максимального сжатия) [18]. В.А. Ануфриевым, А.С. Забродиним, Н.И. Мишиным, Ю.Н. Поповым изучались поля палеонапряжений по данным о шахтной нарушенности, подтвердившие вывод о двух фазах формирования тектонических структур.

В табл. 1 приводятся данные о тектонических нарушениях, изученных в лавах 50—54 пласта Журинского шахты им Е. Ярославского, которая отработывала угольные пласты в пределах северо-восточного крыла Егозово-Красноярской синклинали. На рис. 1 приведены результаты анализа этих данных по двум методам (А.С. Забродина и О.И. Гуценко), использующим разные модели геологической среды. Можно видеть, что в целом оба метода дают близкие результаты по ориентировке оси максимального сжатия (северо-запад). Это не совсем обычно, так как рассматриваемый район относят к Присалаирской зоне линейной складчатости, в которой образование тектонических структур происходило под воздействием давления со стороны Салаира, т. е. с юго-запада.

Здесь же горными и разведочными работами выявлено два крупных дизъюнктива типа взбросов, простирающихся по азимуту 280—330° и имеющих амплитуду 40—55 м. Один из них, взброс Б-Б, имеет юго-западное падение под углом 25—35°, другой, взброс В-В, имеет северо-восточное падение под углом 37—40°. Рассматривая эти два разрыва как сопряженные, получим юго-западную ориентировку (ази-

Таблица 1

Данные о тектонических нарушениях со следами смещения (шахта им. Ярославского, пл. Журицкий, лавы 50-54, Кузбасс)

Data on tectonic disturbances with traces of displacement (mine im. Yaroslavsky, Zhurinsky Square, lavy 50-54, Kuzbass)

№ пп	Азимут/угол падения сместителя	Азимут/угол следов скольжения	Тип смещения
1	160/52	160/52	Взброс
2	95/35	140/32	Взброс
3	330/22	330/22	Взброс
4	350/30	6/28	Взброс
5	95/30	95/30	Взброс
6	135/15-25	135/15-25	Взброс
7	100/26	160/18, 100/23	Взброс
8	120/10-20	160/12	Взброс
9	335/35	335/35	Взброс
10	345/40	345/40	Взброс
11	335/25	335/25	Взброс
12	145/20	145/20	Взброс
13	130/25	130/25	Взброс
14	300/32	300/32	Взброс
15	160/20-24	160/20-24	Взброс
16	340/30	340/30	взброс

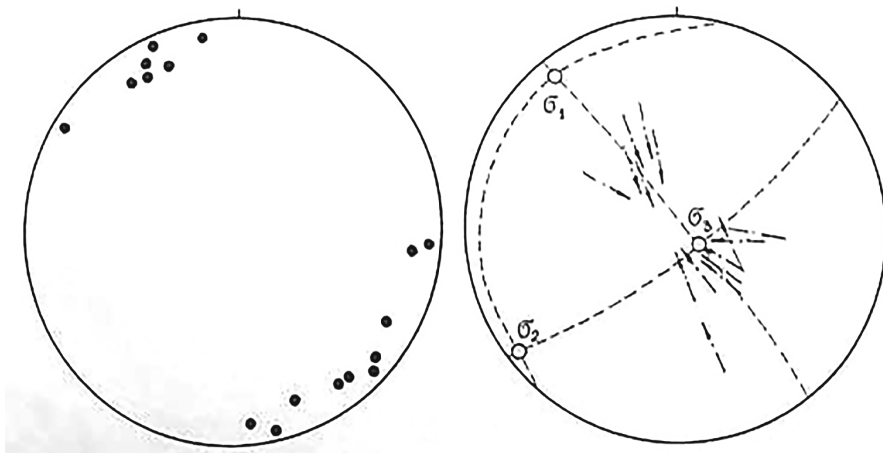


Рис. 1. Результаты тектонофизического анализа данных таблицы 1 методами А. С. Забродина (слева) и О. И. Гущенко (справа)

Fig. 1. Results of tectonophysical analysis of Table 1 data by methods of A. S. Zabrodin (left) and O. I. Gushchenko (right).

мут 215°) оси σ_{\max} максимального сжатия и вертикальную ориентировку оси минимального сжатия. Положение оси σ_{\max} указывает на давление со стороны Салаира в период образования рассматриваемых разрывов. Однако обнаруженная на сместителе нарушения Б-Б штриховка располагается под острым углом к линии простирания ($\gamma = 155^\circ$) и наблюдается по заполнившей шов глинке трения. Такое положение штрихов на сместителе нарушения Б-Б можно рассматривать как доказательство реактивации взброса в поле напряжений с северо-северо-западной ориентировкой оси максимального сжатия.

При геодинамическом районировании этого района Кузбасса было обращено внимание на характерные коленообразные изгибы речных русел в местах их пересечений с крупными взбросами района [24]. Например, направления коленообразных изгибов рек Егозова, Мереть, Еловая при пересечении ими Виноградовского взброса можно расценивать как признаки его левосдвиговой кинематики в современном поле напряжений, имеющем северо-западную ориентировку оси максимального сжатия, табл. 2.

Обсуждение результатов и выводы

Как видно из рис. 1, различные тектонофизические методы анализа нарушенности для рассматриваемого района дают весьма близкие сопоставимые результаты, что позволяет использовать самые простые из них при недостатке данных.

Общепризнано, что поля напряжений изменяются вблизи тектонических нарушений, образуя напряженные и разгруженные зоны. Концентрация напряжений вблизи замыканий нарушений (разломов) зависит от их ориентировки в современном поле напряжений. Тектонофизический анализ позволяет изучать как палео-, так и современные поля напряжений, что важно для прогнозной оценки геомеханического состояния выемочных участков. В рассматриваемом случае мелкие тектонические нарушения благоприятно расположены в современном поле напряжений для образования тектонически напряженных и разгруженных зон. Размеры и интенсивность этих зон могут быть оценены на основе имеющихся подходов и использованы для геомеханических оценок, в том числе выборе мест для проведения эффективной предварительной дегазации угольных пластов. Особенно важно учитывать кулисообразно построенные тектонически нарушенные зоны, в которых расположение участков повышенных и пониженных напряжений зависит от направления сдвига и взаимного расположения кулисообразно смещенных фрагментов. Для правого сдвига и левоуступных нарушений нормальные напряжения вблизи концов фрагментов увеличиваются и препятствуют относительному проскальзыванию крыльев и дегазации массива. Для правоуступных нарушений нормальные напряжения уменьшаются и облегчают подвижки

Таблица 2

Современная кинематика Виноградовского взброса Modern kinematics of the Vinogradovsky upstroke

Азимут/угол падения сместителя Виноградовского взброса, градус	Ориентировка вектора смещения (угол γ), градус	Ориентировка (азимут/угол падения) оси максимального сжатия (по методу А.С. Забродина), градус
230/40	170, левый сдвиг	121/32

и дегазацию массива. Таким образом, в случае правоуступных нарушений возникает тектонически разгруженная зона, с умеренным проявлением геодинамических явлений, благоприятная для дегазации. В случае левоуступных нарушений образуется тектонически напряженная зона, в которой образование мелких вторичных нарушений затруднено, здесь могут накапливаться значительные напряжения, препятствующие дегазации массива и способствующие проявлению более сильных геодинамических явлений. Для левых сдвигов будет отмечаться противоположное.

Таким образом, результаты тектонофизических исследований могут быть использованы при проведении работ по оценке промышленной и геологической безопасности разработки угольных месторождений.

Выводы

1. Различные тектонофизические методы анализа нарушенности для ус-

ловий шахтных полей Ленинск-Кузнецкого района Кузбасса дают близкие сопоставимые результаты, что позволяет использовать самые простые из них при недостатке данных.

2. Поле напряжений, фиксируемое по характеру распределения векторов смещения на мелких шахтных дизъюнктивах, соответствует полю напряжений более высокого ранга, фиксируемому по вторичным подвижкам по более крупным разрывам шахтного поля. В свою очередь, эти поля напряжений соответствуют современному полю напряжений, фиксируемому по характеру смещения элементов рельефа региональным Виноградовским взбросом.

3. На основе результатов тектонофизического анализа нарушенности шахтных полей возможна разработка методов прогнозной оценки геомеханического состояния выемочных участков и выбору мест для первоочередного проведения мероприятий по предварительной дегазации массива. **ГИАБ**

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Артемьев В. Б.* АО «СУЭК». Подземные горные работы. Динамика развития // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № 548. – С. 13–22.

2. *Казанин О.И., Ютяев Е.П.* Технологии подземной разработки угольных пластов: современные вызовы и перспективы // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № 548. – С. 41–51.

3. *Сластунов С. В., Коликов К. С., Ермак Г. П., Ютяев Е. П.* Решение проблемы безопасности угледобычи в долгосрочной программе развития отрасли // Горный журнал. – 2015. – № 4. – С. 46–49. DOI: 10.17580/gzh.2015.04.08.

4. *Yutyayev Evgeny P., Mazanik Evgeny V., Slastunov Sergey V., Batugin Andrian S.* (2019) Methodology for the Selection of In-Seam Gas Drainage System for Intensive and Safe Coal Mining. IVth International Innovative Mining Symposium, E3S Web of Conferences 105, 01032 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910501032>.

5. *Скопинцева О. В., Баловцев С. В.* Оценка влияния аэродинамического старения выработок на аэрологические риски на угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 6-1. – С. 74–83. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-74-83.

6. *Rybak J., Ivannikov A., Kulikova E., Żyrek T.* Deep excavation in urban areas – defects of surrounding buildings at various stages of construction. // MATEC Web Conf. Vol.146, 2018. <https://doi.org/10.1051/matecconf/20181460201>.

7. Kuzin A. A., Grishchenkova E. N., & Mustafin M. G. (2017). Prediction of natural and technogenic negative processes based on the analysis of relief and geological structure. Paper presented at the Procedia Engineering, 189 744-751. doi:10.1016/j.proeng.2017.05.117.

8. Коликов К. С., Каледина Н. О., Кобылкин С. С. Кафедра «Безопасность и экология горного производства»: прошлое, настоящее и будущее // Горный журнал. – 2018. – № 3. – С. 21-28. Doi:10.17580/gzh.2018.03.04.

9. Zubkov A. V. Stress State of the Earth's Crust in the Urals. Lithosphere. 2012, no 3, pp. 3–18.

10. Manchao He, Hongman Xia, Xuena Jia, Weili Gong, Fei Zhao, Kangyuan Liang. Studies on classification, criteria and control of rockbursts // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2012. Vol. 4. Iss. 2. Pp. 97–114.

11. Методические рекомендации по оценке склонности рудных и нерудных месторождений к горным ударам. Утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 23 мая 2013 года № 216/М., 2016, 52 с.

12. Hast N. The measurement of rock pressure in mines. 1958. Norstedt, Stockholm.

13. Батугин С. А., Шаманская А. Т. Исследование напряженного состояния массива горных пород методом разгрузки в условиях Таштагольского железорудного месторождения // ФТПРПИ. – 1965. – № 2. – С. 28-33.

14. Han, J., Zhang, H., Liang, B. et al. Influence of Large Syncline on In Situ Stress Field: A Case Study of the Kaiping Coalfield, China. Rock Mech Rock Eng (2016) 49: 4423, doi.org/10.1007/s00603-016-1039-4

15. Zoback M. L., Zoback M. D., Adams J., Assumpção M., Bell S. et al. Global patterns of tectonic stress // Nature. 1989. Vol. 341. Iss. 6240. Pp. 291–298.

16. Krinitsyn R., Avdeev A., Khudyakov S. Evaluation of geomechanical conditions at magnezitovaya mine when undermining natural and anthropogenic objects. In: E3S Web of Conferences 2018. С. 02017.

17. Белицкий А. А. Классификация тектонических разрывов и геометрические методы их изучения. М., 1953. 68 с.

18. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М., 1975. 536 с.

19. Забродин А. С. Элементы геометрического и геомеханического анализа дизъюнктивов // Маркшейдерское дело в социалистических странах. – Том 6. Катовице, 1974. – С. 317-324.

20. Батугина И. М., Петухов И. М. Геодинамическое районирование месторождений при строительстве и эксплуатации рудников. – М.: Недра, 1988. – 166 с.

21. Гущенко О. И. Метод кинематического анализа структур разрушения при реконструкции полей тектонических напряжений // Поля напряжений и деформаций в литосфере. – М. 1979. – С. 7-25.

22. Angelier J. Analyses qualitative et quantitative des populations de jeux de faults. Bull.Soc.Geol. Fr. 1983. 25. Vol. 5, pp.661-672.

23. Ребецкий Ю. Л., Сим Л. А., Маринин А. В. От зеркал скольжения к тектоническим напряжениям. Методики и алгоритмы. - Москва: ГЕОС, 2017. - 233 с.

24. Батугин А. С., Лазаревич Т. И. Напряженно-деформированное состояние и особенности блочного строения некоторых шахтных полей Кузбасса. Сб. науч. трудов «Совершенствование способов разработки удароопасных месторождений. – Л.: ВНИМИ, 1986. – С.34-38.

REFERENCES

1. Artem'ev V.B. JSC «SUEK». Underground mining, dynamics of development. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. S48, pp. 13– 22. [In Russ].

2. Kazanin O.I., Yutyaev E.P. Underground coal mining technologies: current challenges and prospects. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. S48, pp. 41 – 51. [In Russ].

3. Slastunov S.V., Kolikov K.S., Yermak G.P., Yutyaev Ye. P. Solutions for coal production safety in the long-term prospective of industry development. *Gornyi Zhurnal*. 2015, no. 4, pp. 46–48. [In Russ].
4. Yutyaev Evgeny P., Mazanik Evgeny V., Slastunov Sergey V., Batugin Andrian S. (2019) Methodology for the Selection of In-Seam Gas Drainage System for Intensive and Safe Coal Mining. IVth International Innovative Mining Symposium, E3S Web of Conferences 105, 01032 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910501032>
5. Skopintseva O.V., Balovtsev S.V. Evaluation of the influence of aerodynamic aging of production on aerological risks on coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(6–1):74–83. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-74-83.
6. Rybak J., Ivannikov A., Kulikova E., Żyrek T. Deep excavation in urban areas – defects of surrounding buildings at various stages of construction. // MATEC Web Conf. Vol.146, 2018. <https://doi.org/10.1051/matecon/20181460201>.
7. Kuzin A.A., Grishchenkova E.N., & Mustafin M.G. (2017). Prediction of natural and technogenic negative processes based on the analysis of relief and geological structure. Paper presented at the Procedia Engineering , 189 744–751. doi:10.1016/j.proeng.2017.05.117.
8. Kolikov K.S., Kaledina N.O., Kobylkin S.S. Mining safety and ecology department: Past, present and future. *Gornyi Zhurnal*. 2018, no. 3, pp. 21–28. doi:10.17580/gzh.2018.03.04. [In Russ].
9. Zubkov A.V. Stress State of the Earth's Crust in the Urals. *Lithosphere*. 2012, no. 3, pp. 3–18.10. Manchao He, Hongman Xia, Xuena Jia, Weili Gong, Fei Zhao, Kangyuan Liang. Studies on classification, criteria and control of rockbursts. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2012. Vol. 4. Iss. 2. Pp. 97 – 114.
11. *Metodicheskiye rekomendatsii po otsenke sklonnosti rudnykh i nerudnykh mestorozhdeniy k gornym udaram. Utv. prikazom Federal'noy sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru ot 23 maya 2013 goda № 216* [Guidelines for assessing the propensity of ore and non-ore deposits to rock burst. Approved by order of the Federal Service for Ecological, Technological and Nuclear Supervision of May 23, 2013 no. 216]. Moscow, 2016, 52 p. [In Russ].
12. Hast N. The measurement of rock pressure in mines. 1958. norstedt, Stockholm.
13. Batugin and Shamanskaya. *Issledovaniye napryazhennogo sostoyaniya massiva gornyykh porod metodom razgruzki v usloviyakh Tashtagol'skogo zhelezorudnogo mestorozhdeniya* [Investigations of the stressed state of a rock mass by the stress-relieving method under conditions of the tashtagol iron-ore deposit], Soviet Mining Science, vol. 1(2), pp. 100–104. 1965. Doi:10.1007/BF02501935. [In Russ].
14. Han, J., Zhang, H., Liang, B. et al. Influence of Large Syncline on In Situ Stress Field: A Case Study of the Kaiping Coalfield, China. *Rock Mech Rock Eng* (2016) 49: 4423, doi.org/10.1007/s00603–016–1039–4
15. Zoback M.L., Zoback M.D., Adams J., Assumpção M., Bell S. et al. Global patterns of tectonic stress. *Nature*. 1989. Vol. 341. Iss. 6240. Pp. 291–298.
16. Krinitsyn R., Avdeev A., Khudyakov S. Evaluation of geomechanical conditions at magnezitovaya mine when undermining natural and anthropogenic objects. In: E3S Web of Conferences 2018. C. 02017.
17. Belitsky A.A. *Klassifikatsiya tektonicheskikh razryvov i geometricheskiye metody ikh izucheniya* [Classification of tectonic faults and geometric methods for their study]. Moscow, 1953. 68 p. [In Russ].
18. Gzovsky M.V. *Osnovy tektonofiziki* [Fundamentals of tectonophysics]. Moscow, 1975, 536 p. [In Russ].
19. Zabrodin A.S. *Elementy geometricheskogo i geomekhanicheskogo analiza diz'yunktivov. Marksheyderskoye delo v sotsialisticheskikh stranakh* [Elements of geomet-

ric and geomechanical analysis of faults. Mine surveying in socialist countries]. Volume 6. Katowice, 1974, pp. 317 – 324. [In Russ].

20. Batugina I.M. & Petukhov I.M. 1990. Geodynamic zoning of mineral deposits for planning and exploitation of mines. New Delhi: Oxford and IBH Publishing Co. Pvt. Ltd.

21. Gushchenko O.I. *Metod kinematicheskogo analiza struktur razrusheniya pri rekonstruktsii poley tektonicheskikh napryazheniy. Polya napryazheniy i deformatsiy v litosfere* [The method of kinematic analysis of fracture structures during reconstruction of tectonic stress fields. Fields of stresses and strains in the lithosphere]. Moscow, 1979, pp. 7 – 25. [In Russ].

22. Angelier J. Analyses qualitative et quantitative des populations de jeux de faults. Bull.Soc.Geol. Fr. 1983. 25. Vol. 5, pp. 661 – 672.

23. Rebetsky Yu. L., Sim L.A. Marinin A.V. *Ot zerkal skol'zheniya k tektonicheskim napryazheniyam. Metodiki i algoritmy* [From slickensides to tectonic stresses]. Moscow. 2017. [In Russ].

24. Batugin A.S., Lazarevich T.I. *Napryazhenno.-deformirovannoye sostoyaniye i osobennosti blochnogo stroyeniya nekotorykh shakhtnykh poley Kuzbassa. Sb. nauch. trudov «Sovershenstvovaniye sposobov razrabotki udaropasnykh mestorozhdeniy»* [Stress state and features of the block structure of some mine fields of Kuzbass. Sat scientific Proceedings “Improving the methods of development of rock burst prone deposits]. Leningrad: VNIMI, 1986, pp. 34 – 38. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Батугин Андриан Сергеевич — доктор технических наук, профессор кафедры БЭГП НИТУ «МИСиС», Россия, as-bat@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Batugin A.S., Dr. Sci. (Eng.), professor Temp. PEGP NUST «MISiS», Moscow, Russia, as-bat@mail.ru.

Получена редакцией 11.01.2021; получена после рецензии 26.01.2021; принята к печати 01.02.2021.

Received by the editors 11.01.2021; received after the review 26.01.2021; accepted for printing 01.02.2021.

