

DOI: 10.25558/VOSTNII.2022.90.71.003

УДК 622.031; 622.272.6; 622.831.325

© А.А. Исаченко, Т.В. Петрова, В.Н. Фрянов, 2022

А.А. ИСАЧЕНКО

канд. техн. наук,
главный технолог филиала
«Шахта «Ерунаковская-VIII»
АО «ОУК «Южкузбассуголь», г. Новокузнецк
e-mail: metall_kuzbass@mail.ru

Т.В. ПЕТРОВА

канд. техн. наук,
профессор кафедры менеджмента и отраслевой экономики
СибГИУ, г. Новокузнецк
e-mail: ptrvt@mail.ru

В.Н. ФРЯНОВ

д-р техн. наук,
заведующий кафедрой геотехнологии
СибГИУ, г. Новокузнецк
e-mail: zzz338@rdtc.ru

ОЦЕНКА ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ СЕЙСМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ РАЙОНАХ

В статье изложены результаты анализа геодинамической ситуации в южной части Кемеровской области, где расположены горнодобывающие предприятия, осуществляющие добычу угля и железной руды открытым, подземным или комбинированным способами. Район характеризуется повышенной природной сейсмичностью. В зонах ведения горных работ в связи с наличием постоянно действующих горнодобывающих предприятий сейсмические события приобретают смешанный природно-техногенный характер. Для обеспечения устойчивого функционирования горнодобывающих предприятий посредством прогнозирования и исключения негативного влияния природно-техногенных землетрясений предлагается создание и реализация технологически цифрового подхода, включающего синтез результатов системного мониторинга внутренних факторов геосистемы, технологических процессов и воздействий внешней среды.

Ключевые слова: СЕЙСМИЧНОСТЬ, ГОРНОДОБЫВАЮЩИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ, ВЗАИМНОЕ ВЛИЯНИЕ, ИНСТРУМЕНТАЛЬНО-ВИЗУАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ.

Введение. В России высокой сейсмичностью характеризуются районы Северного Кавказа, Сибири, Дальнего Востока и остров Сахалин [1, 2]. Особую опасность для населения и экономики сейсмически активных районов представляют горнодобывающие предприятия, осуществляющие добычу полезных ископаемых открытым, подземным

или комбинированным способами. Одним из таких регионов является Кемеровская область, в пределах которой осуществляется отработка угольных и рудных месторождений в условиях повышенной природной сейсмичности с магнитудой до 7, возникающей под влиянием движения горных структур Кузнецкого Алатау и Салаирского кряжа навстречу друг к другу.

Неблагоприятная геодинамическая ситуация в Кузбассе возникла не только вслед-

ствие сложного строения недр, пространственного взаимовлияющего расположения геодинамически активных разломов (рис. 1), но и из-за интенсификации техногенных микроземлетрясений, возникающих под влиянием массовых взрывов и блочного обрушения пород на шахтах и карьерах. Гипоцентр очагов природных и техногенных землетрясений располагается, как правило, на глубинах до 15–20 км [1, 3].

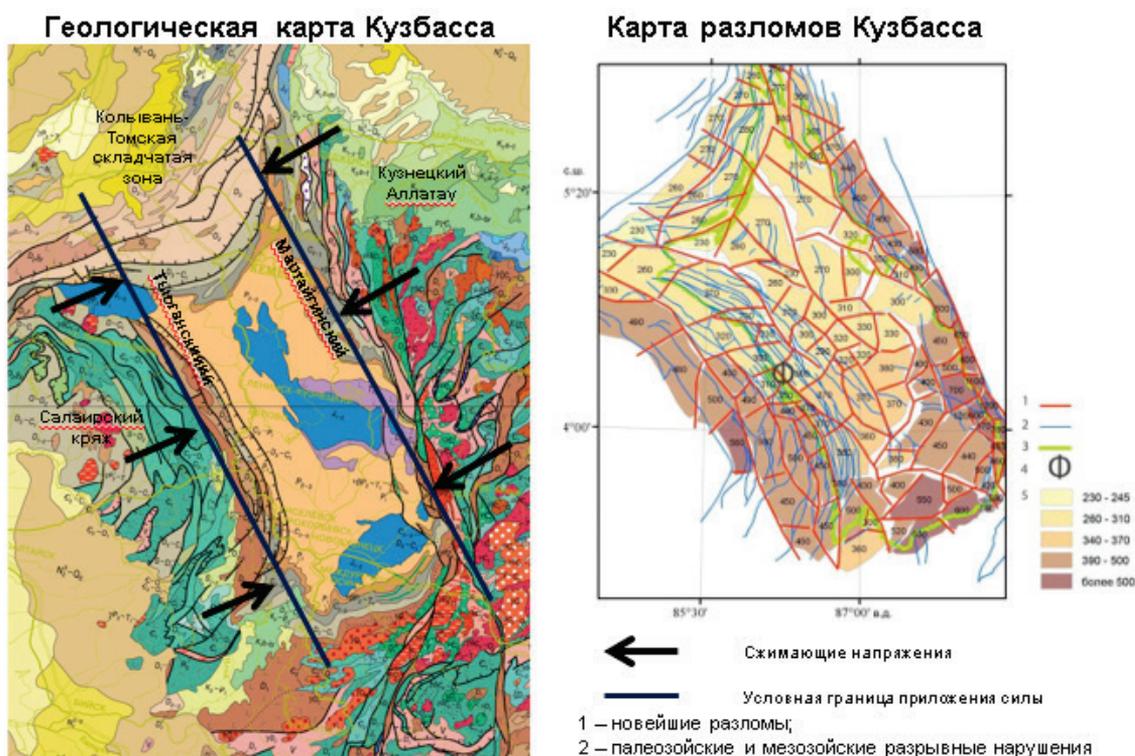


Рис.1. Фрагмент геологической карты Кемеровской области

Интенсивность природных и техногенных микроземлетрясений подтверждается результатами анализа динамики угледобычи в Кузбассе, где по состоянию на начало 2021 года работали 40 шахт и 56 разрезов [4]. В последние 5 лет доля добычи угля открытым способом увеличилась в пределах 57–66 % при соответствующем снижении добычи подземным способом. Сокращение добычи угля подземным способом связано с негативным влиянием следующих факторов: увеличения глубины разработки до 800 м, сокращения инвестиций на развитие шахтного фонда, относительно высокого по сравнению с разрезами уровнем травматизма.

По данным исследований [5, 6, 7], а также исходя из наблюдений по поверхности и в горных выработках, происходит изменение частоты и силы сейсмических событий с магнитудами 1–5, что влияет на подземные и открытые горные выработки и безопасность горных работ.

В 2003 году произошло сильное землетрясение в Алтае-Саянском регионе. Максимальная магнитуда 6,7–7,5, магнитуды афтершоков — до 5,5. Интенсивность колебаний в эпицентре (50,14° с.ш., 87,58° в.д.) составляла 9,0–9,5 балла. Это самое крупное из наблюдаемых землетрясений вблизи Кемеровской области. Как отмечалось в статье [8], Горно-

алтайское землетрясение отразилось на геодинамической обстановке Кузбасса, так как некоторые геодинамически активные разломы Алтая и Кузбасса пересекают друг друга (рис. 1).

В связи с наличием постоянно действующих горнодобывающих предприятий сейсмические события приобретают смешанный природно-техногенный характер. Как показывают результаты статистической обработки геодинамических явлений, в настоящее время на территории Кузбасса отсутствуют сильные, присущие для данной территории сейсмические события. Постоянные массовые взрывы снижают напряжения, накопившиеся в земной коре, препятствуют росту энергии для более мощных землетрясений. Соответственно, сложившаяся геодинамическая ситуация региона способствует нарастанию общего количества мелких сейсмических событий природно-техногенного характера и при этом снижает напряжения в очагах возможных более крупных концентраторов напряжений.

Взаимное влияние разных способов обработки месторождения основано на геомеханическом, гидрологическом, динамическом воздействии на массив горных пород. Изучением сложных геомеханических процессов, протекающих в техногенном полигоне подземной и открытой отработки месторождений, занимались учёные ВНИМИ, ИГД. им. А.А. Скочинского, ИГД СО РАН, КузНИУИ, МГГУ, СибГИУ и др.

Но стоит отметить, что единая методологическая база установления взаимного влияния открытых и подземных работ в условиях сейсмической активности не создана: не выявлены условия геомеханического взаимодействия протекающих процессов в земной коре при одновременном ведении открытых и подземных работ [9, 10]. Это не позволяет осуществлять проектирование и ведение горных работ на лицензионных участках, находящихся в непосредственной близости.

Исходя из выше сказанного, актуальными являются исследования, направленные на создание методологии определения взаимного

влияния смежных действующих и ликвидированных предприятий, а также вида технологий добычи угля и газа, изменений рельефа поверхности при антропогенной деятельности человека.

Методы исследований. Для оценки природно-техногенной геодинамической активности в горнодобывающих сейсмически активных районах использованы следующие методы:

- инструментально-визуальный мониторинг динамических явлений;
- статистический анализ количества очагов возникновения и интенсивности сейсмических событий;
- выявление закономерностей качественно-количественного воздействия системы открытых и подземных выработок на интенсивность природно-техногенных микроземлетрясений;
- создание алгоритма объектно-ориентированного методического подхода для многоступенчатого сбора и анализа геологической, геофизической, тектонической и сейсмической информации, разработки и реализации цифровых виртуальных моделей предприятий.

Результаты исследований. Из горной практики известно, что существенное влияние технологической взаимосвязи соседних горнодобывающих предприятий происходит при одновременном ведении горных работ, совмещенных в одной условной вертикальной плоскости, что усиливает развитие геомеханических процессов. На сейсмическую активность также влияет высокая концентрация горных работ в регионе, особенно при разработке месторождений открытым способом, так как при производстве технологических взрывов происходит изменение гидрогеологических условий и пригрузка массива отвалами вскрышных пород. Это перераспределение напряжений в массиве является одной из причин техногенных землетрясений.

Анализ геомеханического состояния бортов разрезов показывает наличие воздействия двойных вибрационных нагрузок. Первая очередь вибрационных нагрузок возникает от взрывных работ, а вторая — от спровоциро-

ванных взрывами техногенных сейсмических событий. Невысокий класс энергетических событий (до 4 баллов) оказывает влияние на горные работы из-за высокой частоты и длительности воздействия по времени (до нескольких месяцев). Сложный характер воздействия энергии взрывов на горный массив приводит к изменению геомеханической и гидрогеологической ситуаций, развитию оползневых процессов, разрушению бортов.

Особенностью комплексного освоения пластовых месторождений Кузбасса является расположение подземных горных выработок вблизи зоны ведения открытых горных работ или под ними, что иногда приводит к негативному взаимному влиянию [5]. Стоит отдельно отметить, что в процессе проведения и эксплуатации подземные горные выработки находятся под влиянием многочисленных динамических нагрузок, например, под бортами карьеров отвалами пород вскрыши. По мере отработки месторождения горные работы переходят на новые горизонты, углубляются. Это увеличивает вероятность возникновения динамических явлений или наведенной сейсмической активности, повышает напряжения в целиках между открытыми и подземными выработками [11].

Несмотря на разгрузку массива горных пород от напряжений при проявлении микроземлетрясений природного или техногенного происхождения, вероятность землетрясения с максимальной магнитудой 5–7 не исключается. В настоящее время проектирование и принятие проектных решений в части сейсмической опасности региона осуществляется только для поверхностных зданий и сооружений. Требования по защите горных выработок в действующей нормативно-правовой базе отсутствуют. Поэтому актуальной научно-практической задачей является разработка антисейсмических мер для использования при проектировании и отработке угольных месторождений [2, 6, 8].

Для разработки таких требований предлагается проведение следующего инструментально-визуального мониторинга:

- вибрационных воздействий техногенного и естественного происхождения на состояние горных выработок и сооружений;
- деформаций вмещающего массива и элементов крепи горных выработок;
- сейсмических событий с выявлением их пространственно-временного распространения в пределах соседних лицензионных участков открытых и подземных горных работ.

По результатам предварительных исследований в условиях Ерунаковского района Кузбасса установлено, что массив горных пород под влиянием триггерных и вибрационных нагрузок ведет себя как дискретная среда. Продолжительное периодическое воздействие таких нагрузок провоцирует ослабление связей между природными и техногенными блоками и, как следствие, изменение напряженно-деформированного состояния вблизи горных выработок. Для проведения исследования взаимного влияния природно-технической системы, создаваемой в условиях отработки месторождений каменного угля, предлагается блок-схема алгоритма проведения исследований (рис. 2). Рассматривается алгоритм многоступенчатого сбора и анализа геологической, геофизической, тектонической сейсмической информации, разработка и реализация цифровых виртуальных моделей предприятий. Для цифрового описания технологических, геомеханических и организационных процессов используется программное коммерческое обеспечение. Результаты моделирования и мониторинга являются основанием для принятия управленческих и технических решений, направленных на создание безопасных условий работы персонала горнодобывающих предприятий и повышение эффективности производства.



Рис.2. Блок-схема исследования взаимного влияния горных работ при подземной и открытой добыче угля

Для реализации указанного на рис. 2 алгоритма в условиях повышенной природно-техногенной сейсмической активности Кузбасса и высокой концентрации горных производств предлагается разработать методику прогнозирования состояния массива горных пород с учётом взаимного влияния горных работ и процессов соседних горнодобывающих предприятий. Объектом исследования являются опасные производственные объекты: шахта и разрез по добыче угля. Часть элементов предлагаемой методики реализуется в структуре многофункциональной системы безопасности.

Анализ состояния технологических процессов на горнодобывающих предприятиях подземным способом показывает эффектив-

ность увязки всей информационной базы шахты в единый технологически цифровой комплекс, что соответствует требованиям к многофункциональной системе безопасности, внедряемой на действующих предприятиях согласно п. 22 ФНиП «Правила безопасности в угольных шахтах» [12]. Технологически цифровой комплекс объединяет информацию об основных и вспомогательных процессах, состоянии геомассива, аэрогазовой безопасности, водоотлива, оперативного и стратегического планирования с предложением технологических решений по данным цифровых подсказчиков на основе машинного обучения. Это позволяет сделать более технологичными опасные процессы, уменьшить травматизм, оптимизировать ритмичность производствен-

ных процессов предприятия.

Реализация технологически цифрового подхода и синтез результатов системного мониторинга внутренних факторов геосистемы, технологического производства и внешней среды способны обеспечить устойчивость функционирования предприятия.

Внутренние факторы многофункциональной системы безопасности (МФСБ) включают в себя мониторинг всех элементов технологической схемы горнодобывающего предприятия. Внешними факторами являются: взаимное влияние смежных горнодобывающих предприятий (в том числе открытых горных работ), естественная сейсмическая активность, сезонные осадки, расположение в непосредственной близости гидротехнических сооружений, непосредственная близость геотектонических разломов, литотипов, границ морфологических блоков и т. д.

Возможность передачи данных о реализованных технологических решениях позволяет проводить оценку напряжённо-деформированного состояния геомассива вблизи горных выработок и прогнозировать уровень промышленной безопасности опасного производственного объекта.

Особая актуальность применения методики прогнозирования состояния массива горных пород с учётом взаимного влияния горных выработок и процессов соседних горнодобывающих предприятий возникает на пластах, склонных к динамическим явлениям (ДЯ), при возможном развитии негативного сценария. Появляется необходимость отслеживания комплекса факторов, в том числе частоты проявлений ДЯ, энергии волны, скорости акустической волны, изменения температуры вмещающих пород, повышенного газовыделение, деформации контура горных выработок.

С одной стороны, при ведении мониторинга одного или нескольких параметров системы объём данных недостаточен для качественной оценки характера явления, структуры, частоты проявлений, энергии разрушения, что снижает качество прогноза ДЯ. С другой стороны, по результатам производственного опыта установлено, что объём данных, получаемый

из разных источников в реальном времени в действующих системах МФСБ, не позволяет их оперативно анализировать и принимать технически обоснованные решения из-за большого объёма различных данных. Поэтому предлагается рассмотреть единый цифровой комплекс, в который входят системы мониторинга двух и более смежных предприятий. Система позволяет учитывать изменения производства и технологии отдельного горнодобывающего предприятия в прямой зависимости от текущего сценария развития технологического процесса на смежном предприятии.

Основа системы — статистические данные систем мониторинга предприятий за период времени по различным параметрам: сейсмические и акустические активности земной коры, динамические явления, последствия антропогенной деятельности человека, контроль уровня грунтовых вод, аэрогазовая обстановка, показатели дебита метана в дегазационных скважинах, показатели проходки горных выработок и очистных работ (количественные и пространственные показатели) для подземных работ и пр. Программный анализ статистических данных позволяет создать прогнозные сценарии взаимного влияния развития горных производств с выявлением факторов нелинейного влияния и зависимостей.

Обеспечение безопасности на пластах склонных и опасных по проявлениям динамических явлений зависит от своевременного выявления характера и местоположения опасных процессов, протекающих в геотехнологической среде шахты. Поэтому научное обоснование технологических решений по результатам прогнозных линейных и нелинейных моделей обеспечит принятие технологических решений с высокой эффективностью, направленных на опережение развития негативных сценариев.

Выводы.

Предлагаются следующие организационно-технологические рекомендации:

1. Объединение в единый цифровой комплекс нескольких смежных предприятий, находящихся друг от друга на расстоянии до 10 км, в том числе с различной технологией до-

бычи полезных ископаемых, а также видами полезных ископаемых. Предлагается включить в комплекс шахты, разрезы по добыче угля, карьеры по добыче общераспространённых полезных ископаемых, рудники, водозаборы, гидротехнические сооружения (дамбы, плотины), дегазационные и промысловые газовые скважины и пр.

2. Структура единого цифрового комплекса должна объединять следующие три блока:

– блок «Предприятия» включает в себя общие данные о работе нескольких соседних горнодобывающих объектов;

– блок «Статистические данные» по ка-

ждому или группе предприятий включает как линейные, так и нелинейные показатели; к линейным показателям относятся данные с датчиков, которые снимаются с конкретных горных объектов, оборудования, атмосферы, системы GITS и пр. К нелинейным данным относятся данные, полученные в результате программной обработки линейных показателей.

– блок «Прогноз развития ситуации» включает результаты математического прогнозирования параметров геодинамических процессов с учётом воздействия внешней и внутренней сред.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уломов В.И., Шумилина Л.С., Акатова К.Н. Электронная база данных о повторяемости сейсмических сотрясений различной интенсивности на территории северной Евразии. М.: Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. URL: <http://seismos-u.ifz.ru/personal/electr-earth.htm> (дата обращения: 21.12.2021).

2. Уломов В.И., Шумилина Л.С. Проблемы сейсмического районирования на территории России. М.: ВНИИНТПИ. Госстрой России, 1999. 56 с.

3. Лазаревич Т.И., Мазикин В.П., Малый И.А., Ковалев В.А., Поляков А.Н., Харкевич А.С., Шабаров А.Н. Геодинамическое районирование Южного Кузбасса. Кемерово: Научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела межотраслевой научный центр ВНИМИ, 2006. 181 с.

4. Сайт министерства угольной промышленности Кузбасса <https://mupk42.ru/ru/industry/>.

5. Клочков Н.Н., Мальский К.С. Контроль параметров колебаний обнаженных поверхностей подземных выработок, расположенных в прибортовом массиве карьера // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № 57. С. 510–515.

6. Екимов А.И., Цирель С.В. Особенности проявлений тектонической и сейсмической активности в Кузбассе // Записки Горного института. 2010. Т. 188. С. 79–81.

7. Мельников Н.Н., Епимахов Ю.А., Абрамов Н.Н. Научные основы интенсификации возведения большепролетных подземных сооружений в скальном массиве. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2008. 226 с.

8. Цирель С.В., Павлович А.А. Взаимосвязи между сейсмической активностью в Кузбассе и ведением открытых горных работ // Записки Горного института. 2012. Т. 198. С. 174–179.

9. Екимов А.И., Цирель С.В. Особенности проявлений тектонической и сейсмической активности в Кузбассе // Записки Горного института. 2010. Т. 188. С. 79–81.

10. Быкадоров А.И., Ларичкин П.М., Свирко С.В. Геотехнические аспекты проектирования и разработки угольных месторождений комбинированным (открыто-подземным) способом // Рациональное освоение недр. 2014. № 5–6. С. 82–92.

11. Проблемы комплексного освоения суперкрупных месторождений. М.: ИПКОН РАН, 2004. 416 с.

12. Правила безопасности в угольных шахтах: федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. Приказ Ростехнадзора № 507 от 08.12.2020.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2022.90.71.003

UDC 622.031; 622.272.6; 622.831.325

© A.A. Isachenko, T.V. Petrova, V.N. Fryanov, 2022

A.A. ISACHENKO

Candidate of Engineering Sciences,
Chief Technologist of the Branch
«Mine «Erunakovskaya-VIII «JSC «OUK «Yuzhkuzbassugol»
Novokuznetsk
e-mail: Metall_kuzbass@mail.ru

T.V. PETROVA

Candidate of Engineering Sciences,
Professor at the Department of Management and the sectoral economy of SibSIU,
Novokuznetsk
e-mail: ptrvt@mail.ru

V.N. FRYANOV

Doctor of Engineering Sciences,
Head of the Department of Geotechnology
SibSIU, Novokuznetsk
e-mail: zzz338@rdtc.ru

ASSESSMENT OF NATURAL AND MAN-MADE GEODYNAMIC ACTIVITY IN MINING SEISMICALLY ACTIVE AREAS

The article presents the results of the analysis of the geodynamic situation in the southern part of the Kemerovo region, where mining enterprises engaged in the extraction of coal and iron ore by open, underground or combined methods are located. The area is characterized by increased natural seismicity. In mining zones, due to the presence of permanently operating mining enterprises, seismic events acquire a mixed natural and man-made character. To ensure the sustainable functioning of mining enterprises by predicting and eliminating the negative impact of natural and man-made earthquakes, it is proposed to create and implement a technologically digital approach that includes the synthesis of the results of system monitoring of internal factors of the geosystem, technological processes and environmental influences.

Keywords: SEISMICITY, MINING ENTERPRISES, MUTUAL INFLUENCE, INSTRUMENTAL AND VISUAL MONITORING.

REFERENCES

1. Ulomov V.I., Shumilina L.S., Akatova K.N. Electronic database on the frequency of seismic shaking of various intensities in the territory of northern Eurasia. M.: Institute of Physics of the Earth named after O.Yu. Schmidt RAS. URL: <http://seismos-u.ifz.ru/personal/electr-earth.htm> (date of the application: 21.12.2021). [In Russ.]
2. Ulomov V.I., Shumilina L.S. Problems of seismic zoning on the territory of Russia. M.: VNIINTPI. Gosstroy of Russia, 1999. 56 p. [In Russ.]
3. Lazarevich T.I., Mazikin V.P., Maly I.A., Kovalev V.A., Polyakov A.N., Kharkevich A.S., Shabarov A.N. Geodynamic zoning of the Southern Kuzbass. Kemerovo: Research Institute of Mining Geomechanics and Mine Surveying Interdisciplinary Scientific Center VNIMI, 2006. 181 p. [In Russ.]
4. Website of the Ministry of Coal Industry of Kuzbass <https://mupk42.ru/ru/industry/>. [In Russ.]
5. Klochkov N.N., Malsky K.S. Control of vibration parameters of exposed surfaces of underground workings located in the sidewall massif of a quarry // Mining information and analytical bulletin

(scientific and technical journal) [Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal)]. 2015. No. 57. P. 510–515. [In Russ.]

6. Ekimov A.I., Tsirel S.V. Features of manifestations of tectonic and seismic activity in Kuzbass // Notes of the Mining Institute [Zapiski Gornogo instituta]. 2010. Vol. 188. P. 79–81. [In Russ.]

7. Melnikov N.N., Epimakhov Yu.A., Abramov N.N. Scientific bases of intensification of the construction of large-span underground structures in the rock massif. Apatity: Publishing House of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2008. 226 p. [In Russ.]

8. Tsirel S.V., Pavlovich A.A. The relationship between seismic activity in the Kuzbass and the conduct of open pit mining // Notes of the mining institute [Zapiski Gornogo instituta]. 2012. Vol. 198. P. 174–179. [In Russ.]

9. Ekimov A.I., Tsirel S.V. Features of manifestations of tectonic and seismic activity in Kuzbass // Notes of the mining institute [Zapiski Gornogo instituta]. 2010. Vol. 188. P. 79–81. [In Russ.]

10. Bykadorov A.I., Larichkin P.M., Svirko S.V. Geotechnical aspects of designing and developing coal deposits by a combined (open-underground) method // Rational development of the subsoil [Racionalnoe osvoenie nedr]. 2014. No. 5–6. P. 82–92. [In Russ.]

11. Problems of complex development of super-large deposits. M.: IPCON RAS, 2004. 416 p. [In Russ.]

12. Safety rules in coal mines: federal norms and rules in the field of industrial safety. Order of Rostekhnadzor No. 507 dated 08.12.2020. [In Russ.]