

УДК 622.83

Харисов Тимур Фаритович

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
лаборатория геомеханики подземных
сооружений,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: timur-ne@mail.ru

Балек Александр Евгеньевич

доктор технических наук,
ведущий научный сотрудник,
лаборатория геомеханики
подземных сооружений,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: balek@igduran.ru

**ОЦЕНКА ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ
АКТИВНОСТИ ИЕРАРХИЧЕСКИ
БЛОЧНОГО ПОРОДНОГО МАССИВА****Аннотация:*

Проявление геодинамической активности в дискретном массиве с блоковой организацией влечет за собой снижение устойчивости системы «крепь – массив» в процессе строительства и эксплуатации объектов недропользования, что проявляется в виде потери несущей способности и нарушения возведенной крепи.

Выявление межблоковых границ, их качественная и количественная оценка являются актуальной задачей в горной науке и производстве, от ее решения зависит безопасность ведения работ на объектах недропользования.

Авторами для выявления в массивах скальных горных пород геодинамически активных междублоковых границ предложено использовать результаты замеров вывалообразований, смещений и других видимых нарушений контура поперечного сечения горных выработок в черне, фиксируемых в процессе их проходки маркшейдерскими службами.

В качестве объекта исследований использовался рудопородный массив Кемпирсайских хромитовых месторождений, обрабатываемых шахтой «10-летие независимости Казахстана». Его выбор обусловлен благоприятными условиями для изучения процессов разрушения и подвижек породных блоков, вследствие сочетания сравнительно высоких тектонических напряжений с низкими прочностными характеристиками скального массива.

В работе представлена методика выявления геодинамически активных блоков, самоорганизующихся в скальных породных массивах под воздействием природного и техногенного поля напряжений.

Выводы: степень геодинамической активности пересекемой междублоковой границы характеризует отношение градиента скачкообразного увеличения размеров выработки к градиенту их последующего приближения к проектным размерам.

Ключевые слова: горный массив, иерархическая блочность, геодинамические движения, напряжения, деформации, вертикальные стволы, проходка, шахта.

DOI: 10.25635/2313-1586.2021.03.030

Kharisov Timur F.

Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher,
Laboratory of geomechanics
of underground structures,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
620075 Ekaterinburg,
58 Mamina-Sibiriyaka Str.
e-mail: timur-ne@mail.ru

Balek Alexander E.

Doctor of Engineering Sciences,
Leading Researcher,
Laboratory of geomechanics
of underground structures,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: balek@igduran.ru

**ASSESSMENT OF GEODYNAMIC
ACTIVITY OF HIERARCHICALLY
BLOCK ROCK MASSIF***Abstract:*

Manifestation of geodynamic activity in the massif, namely in a discrete environment with a block organization, which contains objects of subsoil use, entails a decrease in the stability of the system "support - massif" during the construction and operation of underground workings, which is manifested as a loss of stability and failures of the existing support.

Revealing of interblock interfacing and their qualitative and quantitative estimation is an actual fundamental and applied problem in a mining science which solution allows understanding more about mechanics of deformation of massif and, subsequently, taking into account the received results while conducting of mining works.

The authors proposed to use the results of measurements of dumps, displacements and other visible failures of the contour of the cross-section of rock massifs recorded during their sinking to identify geodynamically active interblock boundaries in rock massifs.

As an object of full-scale researches, the paper used the ore massif of the Kempirsay chromite deposits operated by the mine "10th Anniversary of Independence of Kazakhstan". Choice of this object is due to its favorable conditions for studying the processes of destruction and natural shifts of rock blocks, resulting from the combination of relatively high tectonic stress with low strength and the modulus of elasticity of the rock and ore massif of the mine.

We present an innovative methodology to identify geodynamically active block structures, self-organized in the rock massifs under the influence of natural and anthropogenic field of stresses and deformations.

Conclusions: the degree of geodynamic activity of the intersected interblock contour is characterized by the ratio of the gradient of the jumping increase in the dimensions of the excavation to the gradient of their subsequent approach to the design dimensions.

Key words: rock mass, hierarchical block, geodynamic movements, stresses, deformations, vertical shafts, sinking, mine.

* Работа выполнена в ходе реализации государственного задания № 075-00581-19-00, тема № 0405-2019-0007

Введение

Эффективное и безопасное строительство подземных объектов недропользования во многом зависит от качества оценки горно-геологических и геомеханических условий вмещающего массива, а именно совокупности границ структурных элементов, именуемых блоками, параметры которых варьируются в зависимости от рассматриваемого иерархического уровня.

Одной из основных характеристик межблоковых границ является их геодинамическая активность, которая характеризуется количественными показателями взаимных перемещений структурных блоков в пространстве и во времени.

Проявление геодинамической активности влечет за собой снижение устойчивости окружающего массива в процессе строительства и эксплуатации подземных выработок, что проявляется в виде потери несущей способности и нарушении возведенной крепи. Выявление структурных границ с последующей качественной и количественной оценкой их геодинамической активности является актуальной фундаментальной и прикладной задачей, решение которой позволяет повысить безопасность ведения горных работ путем учета полученных результатов при строительстве.

Ученые в своих исследованиях на разных масштабных иерархических уровнях ранжируют геодинамические разломы по степени активности, учитывая геолого-морфологические аспекты [1], данные комплекса сейсмологических исследований [2], анализ аэрофотоснимков, спутниковой, геодезической GPS съемки [3, 4], а также результаты геофизических измерений [5].

Ю.О. Кузьмин, А.А. Панжин и Ю.П. Коновалова определяют межблоковые границы и геодинамическую активность исследуемого участка массива, проявляющуюся как в виде медленных криповых подвижек по границам структурных блоков, так и в виде короткопериодных знакопеременных движений в пределах масштабного уровня 200 – 6000 м и более. Измерения осуществляются в виде непрерывного мониторинга комплексами спутниковой геодезии системы реперных пунктов в течение нескольких часов или даже суток [6 – 12].

Т.Ш. Далатказин методом радонометрии производит структурно-геодинамическое картирование участка массива с последующим расчетом индекса геодинамической активности на выявленных границах структурных блоков в пределах масштабного уровня 100 – 3000 м [13]. Масштаб ограничен трудоемкостью используемого метода. Приведенные методики являются эффективными, но их применение в ограниченном пространстве (горные выработки) не представляется возможным.

В.Б. Писецкий на основе зарегистрированных сейсмических сигналов осуществляет оценку структуры и относительных значений параметров поля напряжений массива на расстояниях от нескольких до сотен метров в условиях подземных выработок [14]. Однако данная методика не позволяет количественно охарактеризовать степень геодинамической активности выявленных структурных блоков.

Методы исследований

В данных исследования выявление в массивах скальных пород геодинамически активных междублоковых границ выполнено на основании результатов замеров вывалообразований, а также смещений и других видимых нарушений контура поперечного сечения горных выработок вчерне, фиксируемых в процессе их проходки [15, 16].

При приближении забоя выработки к границе между крупномасштабными (размерами в десятки – сотни метров) породными блоками, оконтуриваемыми зонами повышенной трещиноватости, происходит ухудшение устойчивости призабойного массива. По мере удаления забоя от междублоковой границы с тем же темпом происходит увеличение устойчивости массива.

При пересечении в процессе проходки забоем «активной» границы между подвижными блоками ухудшение устойчивости призабойного породного массива будет

происходить более интенсивно, чем при пересечении «пассивной» границы между неподвижными блоками, что впоследствии отразится в резком увеличении размеров выработки в черне. При удалении забоя от «активной» междублоковой границы приближение параметров выработки к проектным размерам будет происходить более медленно, чем при удалении от границы «пассивной». Соответственно, коэффициент геодинамической активности междублоковых границ в массиве может быть выражен отношением градиента увеличения размеров выработки к градиенту их последующего приближения к проектным.

Наиболее выраженная самоорганизация крупномасштабных подвижных блоковых структур происходит в процессе проходки вертикальных стволов по причине их больших размеров и меньшего влияния случайных породных вывалов, происходящих под воздействием силы тяжести. Кроме того, проходка шахтных стволов сопровождается детальными маркшейдерскими замерами породного контура согласно действующей нормативной документации. Параметры породных стенок ствола определяются от центрального или боковых отвесов с шагом, кратным проходческому циклам, но не более чем через 8 м с последующей фиксацией полученных результатов в специальном журнале, который хранится в архиве предприятия и доступен для ретроспективного анализа.

Результаты исследований

Объектом исследований является скальный массив Кемпирсайских хромитовых месторождений, обрабатываемых шахтой «10-летие независимости Казахстана». Исследуемый массив представлен трещиноватыми габбро-амфиболитами и ультраосновными серпентинизированными породами: дунитами, перидотитами, пироксеновыми дунитами. Предел прочности пород на одноосное сжатие варьируется от -45 до -90 МПа; на одноосное растяжение – от 5 до 9 МПа; статический модуль упругости – $35 \div 40$ ГПа и коэффициент Пуассона – от 0,25 до 0,30.

Стоит отметить, что массив характеризуется низкой устойчивостью в пределах IV – V категории в соответствии с классификациями З. Бенявского, Д. Лобшира, Н. Бартона и др. [17 – 19] по причине наличия многочисленных хаотично направленных систем трещин и разноориентированных тектонических нарушений, разбивающих массив на разномасштабные структурные блоки. Блоки размерами менее 0,1 – 0,5 м оконтурены трещинами, преимущественно залеченными прочным заполнителем, а блоки размерами 1 – 1,5 м и больше особенно в серпентинизированных породах оконтурены трещинами с милонитовым или серпофитовым тальковидными заполнителями, которые при увлажнении становятся мыльными на ощупь, что приводит к значительному снижению междублоковых связей.

В ходе исследования проанализированы данные журналов проходки стволов Вентиляционный, Скиповой и Клетевой, где происходили нарушения бетонной и тубинговой крепи. Проходка стволов Вентиляционный и Скиповой осуществлялась в схожих горно-геологических и геомеханических условиях, так как расстояние между ними составляет около 120 м. До глубины 900 – 1050 м их проходка велась в сравнительно устойчивом трещиноватом габбро-амфиболитовом массиве, а далее – в неустойчивом напряженном массиве серпентинизированных пород. Строительство ствола Клетевой производилась полностью в трещиноватом неустойчивом геодинамически активном массиве серпентинизированных пород [20, 21].

В 2015 г. в процессе проходки ствола Вентиляционный на глубине около 950 м на границе габбро-амфиболитового и серпентинитового массивов произошли нарушения двух колец тубинговой крепи в виде разрывов чугунных полок, появления трещин в спинках и ребрах тубингов, сопровождаемые изгибами монтажных балок и формированием эллипсоидности тубинговых колец с максимальным суммарным отклонением $\Delta R = 187$ мм. Анализ маркшейдерских замеров показал, что нарушения крепи произош-

ли вследствие взаимных подвижек двух крупномасштабных блоковых структур вмещающего породного массива, наклонно пересекающих ствол, которые привели к смещению его сечения в восточном направлении на 50 мм [22].

В 2020 г. при проходке ствола Скиповой в интервале глубин 1067 – 1077 м в трех кольцах монолитной бетонной крепи высотой 6 м наблюдались выколы бетона и формирование наклонно секущих трещин с раскрытием до 3 мм. На призабойном участке крепи, в ортогональном к нарушениям бетонной крепи направлению по изгибам временной крепи из колец СВП была зафиксирована подвижка породной стенки ствола на 400 мм.

На основании косвенных данных, горизонтальные смещения крупных блоков массива связаны с нарушением бетонной крепи Клетевого ствола, в котором в 1984 г. при проходке в относительно однородном серпентинитовом массиве на интервале глубин 572 – 765 м произошло аварийное разрушение 193-метрового участка монолитной бетонной крепи. После крупного вывала объемом свыше 20 м³ из северной призабойной стенки ствола на глубине 765 м и появления в вышележащем бетонном кольце первых трещин и выколов бетона началось интенсивное разрушение участка крепи, находящегося на 30 м выше, на глубине 727 – 730 м, а также трещинообразования в северо-восточной стенке ствола в интервале глубин 737 – 743 м. Затем, в течение последующих двух суток, произошло лавинообразное разрушение 193-метрового участка бетонной крепи [23].

Результаты замеров превышений проектных радиусов вышеперечисленных стволов в процессе проходки, усредненные по периметрам, глубины, на которых происходили нарушения крепи, и границы крупномасштабных блоковых структур, выделяемых по пиковым превышениям проектных радиусов, представлены на рис. 1 – 3.

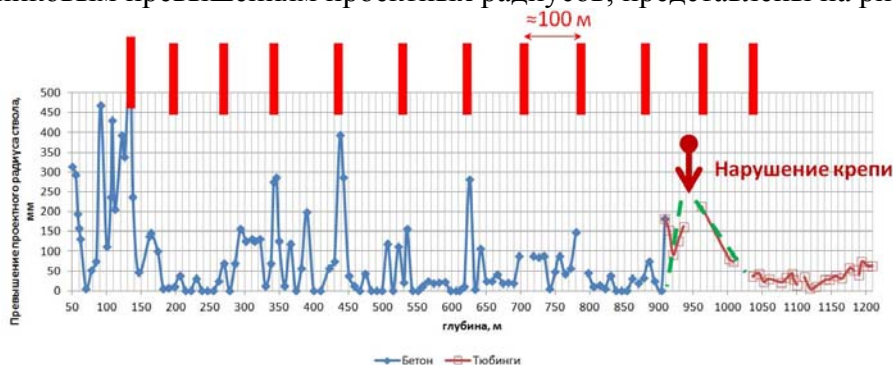


Рис. 1. Результаты замеров превышений проектного радиуса ствола Вентиляционный в процессе проходки

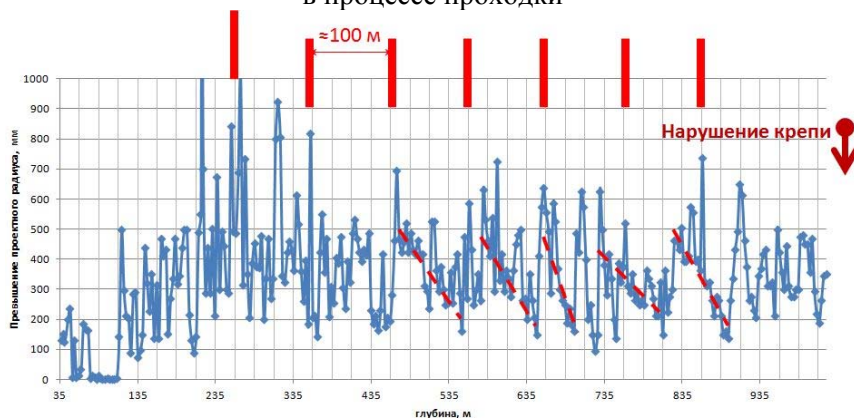


Рис. 2. Результаты замеров превышений проектного радиуса ствола Скиповой в процессе проходки

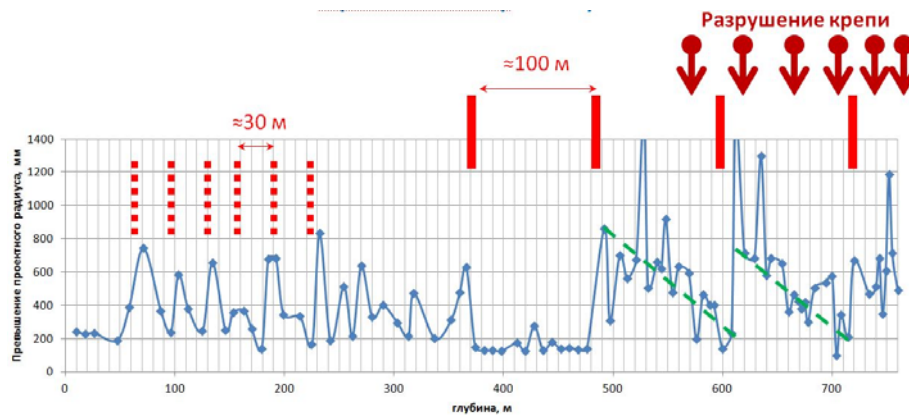


Рис. 3. Результаты замеров превышений проектного радиуса ствола Клетевой в процессе проходки

Обсуждение результатов

Анализ результатов свидетельствует о возможности выделения в массивах скальных горных пород в различных геомеханических и технологических условиях «активных» междублоковых границ, не выделяемых альтернативными методами.

В стволе Вентиляционный произошедшие на глубине 950 м подвижки крупномасштабных блоковых структур, приведших к смещению его сечения на 50 мм, совпали с резким (за 8 – 9 уходов) ростом и последующим в 3 раза более постепенным (свыше 24 уходов) приближением усредненного радиуса ствола к проектным значениям (выделено пунктиром). В стволе Скиповой быстрые возрастания и медленные уменьшения усредненного радиуса ствола начали проявляться с глубины около 450 м. На рис. 2 на это указывают пунктирные линии линейных аппроксимирующих трендов, отражающих существенно более медленные, чем возрастания (в 5 – 6 и более раз), приближения сглаженных значений усредненного радиуса ствола к проектным. Они свидетельствуют о наличии на глубинах около 470, 600, 660, 730 и 860 м «активных» границ между крупномасштабными (размерами порядка 100 м) подвижными блоковыми структурами.

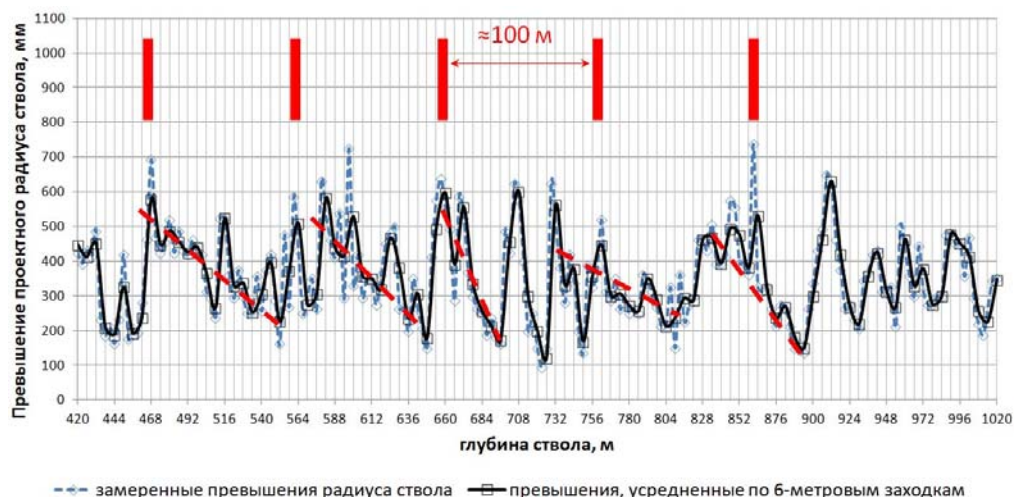


Рис. 4. Результаты замеров превышений проектного радиуса ствола Скиповой, усредненные по его периметру и по 6-метровым заходкам

Следует отметить, что способ сглаживания замеренных значений радиуса ствола на их линейную аппроксимацию сказывается слабо, поскольку предлагаемый метод заведомо не требует больших коэффициентов аппроксимации. Об этом можно судить по рис. 4, где на точечную диаграмму рис. 2 в интервале глубин 420 – 1020 м наложены

результаты, усредненные не только по периметру ствола, но и по 6-метровым заходкам. Это позволило сгладить разницу между замерами у забоя и на высоте 3 м, (которые в 85 % уходов были больше, чем у забоя, но в среднем лишь на 28 мм). Однако на выявленные границы геодинамически активных блоковых структур это практически не повлияло.

Такие же соотношения размеров «активных» и «пассивных» породных блоков прослеживается и по замерам в стволе Клетевой, где выделяются границы между 100-метровыми подвижными структурами, с коэффициентом взаимной активности около 5 - 6, сформированные из 30-метровых малоподвижных блоковых структур с коэффициентом активности порядка 1 (рис. 3).

Следует отметить, что размеры более крупномасштабных подвижных породных блоков, ранее выявленных по замерам горизонтальных смещений реперных пунктов на поверхности шахтного поля, в среднем составляли 300 – 500 м [23]. Такое распределение размеров иерархий подвижных блоковых структур хорошо вписывается в современные математические модели процессов самоорганизации (консолидации, вторичного структурирования) деформационного поля массива скальных горных пород, проявляющихся в формировании в нем относительно стабильных блоковых структур, выделяемых по согласованным смещениям слагающих их более мелкомасштабных породных блоков.

Заключение

По результатам натурных исследований при проходке вертикальных стволов в тектонически напряженных массивах скальных пород выявлен критерий самоорганизации крупномасштабных подвижных блоков, определяющих риск возникновения аварийных ситуаций в подземных горных выработках, *отличающийся* тем, что

- при пересечении забоем выработки геодинамически активной границы между блоковыми структурами происходит резкое ухудшение устойчивости призабойного массива, которое характеризуется скачкообразным увеличением размеров выработки вчерне, с последующим в несколько раз более постепенным их приближением к проектным размерам;

- коэффициент геодинамической активности характеризуется отношением градиента увеличения размеров выработки к градиенту их последующего приближения к проектным размерам.

Список литературы

1. Чипизубов А.В., 1991. Классификация активных разломов по степени активности, возрасту, активизации и достоверности. *Тектоника океанов и палеоокеанов: тезисы докладов всесоюзного тектонического совещания*. Москва, Наука, С. 25 – 27.
2. Шерман С.И., Сорокин А.П., Савитский В.А., 2005. Новые методы классификации сейсмоактивных разломов литосферы по индексу сейсмичности. *Доклады Академии наук*, Т. 401, № 3, С. 395 – 398.
3. Ассиновская Б.А., Горшков В.П., Щербакова Н.В., Панас Н.М., 2013. Активные разломы, выявленные по данным геодинамических наблюдений в Балтийском море. *Инженерные изыскания*, № 2, С. 50 – 55.
4. Баранов Б.В., Гедике К., Фрейтаг Р., Дозорова К.А., 2010. Активные разломы юго-восточной части Камчатского полуострова и Командорская зона сдвига. *Вестник Камчатской региональной организации. Учебно-научный центр. Серия: Науки о Земле*, № 2 (16), С. 66 – 77.
5. Неведрова Н.Н., Санчаа А.М., Шалагинов А.Е., Пономарев П.В., Рохина М.Г., 2015. Характеристика активности разломных структур по данным геоэлектрики с контролируемыми источниками (на примере Горного Алтая). *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 12, С. 243 – 259.

6. Панжин А.А., Панжина Н.А., 2020. Исследование короткопериодной геодинамики массива горных пород Качканарского горно-обогатительного комбината. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*, № 2, С. 318 – 329.
7. Panzhin A., 2020. Identification of geodynamic movements based on the results of geodetic monitoring measurements. *E3S WEB OF CONFERENCES. VIII International Scientific Conference “Problems of Complex Development of Georesources” (PCDG 2020)*, P. 04001. DOI: 10.1051/e3sconf/202019204001.
8. Коновалова Ю.П., Ручкин В.И., 2020. Оценка влияния короткопериодных геодинамических движений на напряженно-деформированное состояние массива горных пород. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 3 – 1, С. 90 – 104. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-90-104.
9. Kuzmin Yu.O., 2016. Recent geodynamics of dangerous faults. *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*, T.52, №5, P. 709 – 722. DOI: 10.1134 /S1069351316050074.
10. He X., Hua X., Yu K., Xuan W., Lu T., Zhang W., Chen X., 2015. Accuracy enhancement of GPS time series using principal component analysis and block spatial filtering. *Advances in Space Research*, Vol. 55, Issue 5. March, P. 1316 – 1327.
11. Yan Bao, Wen Guo, Guoquan Wang et al., 2017. Millimeter-Accuracy Structural Deformation Monitoring Using Stand-Alone GPS. *Journal of Surveying Engineering*, Vol. 144.
12. Yigit C.O., Coskun M.Z. Yavasoglu H. et al., 2016. The potential of GPS precise point positioning method for point displacement monitoring: A case study. *Measurement*, Vol. 91, С. 398 – 404.
13. Далатказин Т.Ш., Зуев П.И., 2020. Исследования геодинамической ситуации прибортовых участков с использованием радонометрии при открытом способе разработки месторождений. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 3 – 1, С. 46 – 55.
14. Лапин С.Э., Писецкий В.Б., Патрушев Ю.В., Чевдарь С.М., 2016. Результаты технологического применения сейсмического метода дистанционной оценки риска потери прочности горного массива в процессе ведения подземных горных работ: *Сейсмические технологии-2016: сб. науч. ст.*, С. 119–121.
15. Балек А.Е., Озорнин И.Л., Каюмова А.Н., 2020. Совместные замеры напряженного состояния и модуля упругости породного массива при проходке шахтных стволов. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 3 – 1, С. 21 – 36. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-21-36.
16. Wang J., Li E., Chen L., Han Y., Wang C., 2019. Measurement and analysis of the internal displacement and spatial effect due to tunnel excavation in hard rock. *Tunnelling and Underground Space Technology*, V. 84, P. 151 – 165.
17. Laubscher D. H. and Jakubec J., 2001. The MRMR rock mass classification for jointed rock masses, In *Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals and International Case Studies* (eds. W. A. Hustrulid and R. L. Bullock). *Society of Mining Metallurgy and Exploration, SME*, С. 475 – 481.
18. Avinash P., Murthy V. M. S. R., Prakash A., Singh A.K., 2018. Estimation of rock load in development workings of underground coal mines - A modified RMR approach. *Current Science*, Vol. 114, No. 10, P. 2167 – 2174.
19. Meshram V.M., Dahale P.P., Tiwari M.S., Ramteke S.B., 2018. Advancement of support system for underground drift excavation - a review. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, Vol. 9, No 6, С. 332 – 339.
20. Sashurin A.D., Panzhin A.A., Kharisov T.F., Knyazev D.Yu., 2016. Innovative approaches to rock mass stability in mining high-grade quartz veins. *Eurasian Mining*, № 2, С. 3 – 5.
21. Харисов Т.Ф., Антонов В.А., 2015. Исследование деформации горных пород в процессе проходки вертикального ствола. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 3, С. 146 – 150.

22. Озорнин И.Л., Балек А.Е., Каюмова А.Н., 2020. Формирования нагрузок на крепь шахтных стволов в иерархически блочной среде под влиянием современных геодинамических движений. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 3 – 1, С. 173 – 181. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-173-181.

23. Боликов В.Е., Тиль В.В., Зайцев Ю.Г., 1998. Геомеханические проблемы при проходке и креплении капитальных горных выработок на шахте Центральная. *Горный журнал*, № 6, С. 15 – 17.

References

1. Chipizubov A.V., 1991. *Klassifikatsiya aktivnykh razlomov po stepeni aktivnosti, vozrastu, aktivizatsii i dostovernosti*. Tektonika okeanov i paleookeanov: tezisy докладов все-союзного тектонического совещания [Classification of active faults by degree of activity, age, activation and reliability. Tectonics of oceans and paleoceans: abstracts of reports of the All-Union Tectonic Meeting]. Moscow, Nauka, P. 25 – 27.

2. Sherman S.I., Sorokin A.P., Savitskii V.A., 2005. *Novye metody klassifikatsii seismoaktivnykh razlomov litosfery po indeksu seismichnosti* [New methods of classification of seismically active lithospheric faults according to the seismicity index]. *Doklady Akademii nauk*, Vol. 401, № 3, P. 395 – 398.

3. Assinovskaya B.A., Gorshkov V.P., Shcherbakova N.V., Panas N.M., 2013. *Aktivnye razlomy, vyyavlennyye po dannym geodinamicheskikh nablyudenii v Baltiiskom more* [Active faults identified by geodynamic observations in the Baltic Sea]. *Inzhenernye izyskaniya*, № 2, P. 50 – 55.

4. Baranov B.V., Gedike K., Freitag R., Dozorova K.A., 2010. *Aktivnye razlomy yugovostochnoi chasti Kamchatskogo poluoostrova i Komandorskaya zona sdviga* [Active faults of the southeastern part of the Kamchatka peninsula and the Commander zone of the shift]. *Vestnik Kamchatskoi regional'noi organizatsii. Uchebno-nauchnyi tsentr. Seriya: Nauki o Zemle*, № 2 (16), P. 66 – 77.

5. Nevedrova N.N., Sanchaa A.M., Shalaginov A.E., Ponomarev P.V., Rokhina M.G., 2015. *Kharakteristika aktivnosti razlomnykh struktur po dannym geoelektriki s kontroliruemymi istochnikami (na primere Gornogo Altaya)* [Characteristics of the activity of fault structures according to the data of geoelectrics with controlled sources (on the example of the Altai Mountains)]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 12, P. 243 – 259.

6. Panzhin A.A., Panzhina N.A., 2020. *Issledovanie korotkoperiodnoi geodinamiki massiva gornyykh porod Kachkanarskogo gorno-obogatitel'nogo kombinata* [Study of the short-period geodynamics in the rock mass of the Kachkanar Mining and Processing Plant]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*, № 2, P. 318 – 329.

7. Panzhin A., 2020. Identification of geodynamic movements based on the results of geodetic monitoring measurements. E3S WEB OF CONFERENCES. VIII International Scientific Conference “Problems of Complex Development of Georesources” (PCDG 2020), R. 04001. DOI: 10.1051/e3sconf/202019204001.

8. Konovalova Yu.P., Ruchkin V.I., 2020. *Otsenka vliyaniya korotkoperiodnykh geodinamicheskikh dvizhenii na napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie massiva gornyykh porod* [Assessment of the effect of short-period geodynamic movements on the stress-strain state of the rock mass]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 3 – 1, P. 90 – 104. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-90-104.

9. Kuzmin Yu.O., 2016. Recent geodynamics of dangerous faults. *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*, Vol.52, №5, P. 709 – 722. DOI: 10.1134/S1069351316050074.

10. He X., Hua X., Yu K., Xuan W., Lu T., Zhang W., Chen X., 2015. Accuracy enhancement of GPS time series using principal component analysis and block spatial filtering. *Advances in Space Research*, Vol. 55, Issue 5. March, P. 1316 – 1327.

11. Yan Bao, Wen Guo, Guoquan Wang et al., 2017. Millimeter-Accuracy Structural Deformation Monitoring Using Stand-Alone GPS. *Journal of Surveying Engineering*, Vol. 144.
12. Yigit C.O., Coskun M.Z. Yavasoglu H. et al., 2016. The potential of GPS precise point positioning method for point displacement monitoring: A case study. *Measurement*, Vol. 91, P. 398 – 404.
13. Dalatkazin T.Sh., Zuev P.I., 2020. *Issledovaniya geodinamicheskoi situatsii pribortovykh uchastkov s ispol'zovaniem radonometrii pri otkrytom sposobe razrabotki mestorozhdenii* [Studies of the geodynamic situation of instrument sites using radonometry in the open-pit method of field development]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 3 – 1, P. 46 – 55.
14. Lapin S.E., Pisetskii V.B., Patrushev Yu.V., Chevdar' S.M., 2016. *Rezultaty tekhnologicheskogo primeneniya seismicheskogo metoda distantsionnoi otsenki riska poteri prochnosti gornogo massiva v protsesse vedeniya podzemnykh gornykh rabot* [Results of technological application of the seismic method of remote assessment of the risk of loss of strength of the rock mass in the process of conducting underground mining]: *Seismicheskie tekhnologii-2016: sb. nauch. st.*, P. 119–121.
15. Balek A.E., Ozornin I.L., Kayumova A.N., 2020. *Sovmestnye zamery napryazhennogo sostoyaniya i modulya uprugosti porodnogo massiva pri prokhodke shakhtnykh stvolov* [Joint measurements of the stress state and modulus of elasticity in the rock mass during the sinking of mine shafts]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 3 – 1, P. 21 - 36. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-21-36.
16. Wang J., Li E., Chen L., Han Y., Wang C., 2019. Measurement and analysis of the internal displacement and spatial effect due to tunnel excavation in hard rock. *Tunnelling and Underground Space Technology*, V. 84, P. 151 – 165.
17. Laubscher D. H. and Jakubec J., 2001. The MRMR rock mass classification for jointed rock masses, In *Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals and International Case Studies* (eds. W. A. Hustrulid and R. L. Bullok). *Society of Mining Metallurgy and Exploration, SME*, P. 475 – 481.
18. Avinash P., Murthy V. M. S. R., Prakash A., Singh A.K., 2018. Estimation of rock load in development workings of underground coal mines - A modified RMR approach. *Current Science*, Vol. 114, No. 10, P. 2167 – 2174.
19. Meshram V.M., Dahale P.P., Tiwari M.S., Ramteke S.B., 2018. Advancement of support system for underground drift excavation - a review. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, Vol. 9, No 6, P. 332 – 339.
20. Sashurin A.D., Panzhin A.A., Kharisov T.F., Knyazev D.Yu., 2016. Innovative approaches to rock mass stability in mining high-grade quartz veins. *Eurasian Mining*, № 2, P. 3 – 5.
21. Kharisov T.F., Antonov V.A., 2015. *Issledovanie deformatsii gornykh porod v protsesse prokhodki vertikal'nogo stvola* [Investigation of deformation of rocks in the process of sinking a vertical shaft]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 3, P. 146 - 150.
22. Ozornin I.L., Balek A.E., Kayumova A.N., 2020. *Formirovaniya nagruzok na krep' shakhtnykh stvolov v ierarkhicheskii blochnoi srede pod vliyaniem sovremennykh geodinamicheskikh dvizhenii* [Formation of loads on the support of mine shafts in a hierarchically blocky environment under the influence of modern geodynamic movements]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 3 – 1, P. 173 – 181. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-173-181.
23. Bolikov V.E., Til' V.V., Zaitsev Yu.G., 1998. *Geomekhanicheskie problemy pri prokhodke i krep'lenii kapital'nykh gornykh vyrabotok na shakhte Tsentral'naya* [Geomechanical problems during the sinking and fastening of capital mine workings at the Tsentral'naya mine]. *Gornyi zhurnal*, № 6, P. 15 – 17.