

УДК 622.831:556.3

Далатказин Тимур Шавкатович
кандидат технических наук,
заведующий лабораторией
технологий снижения риска катастроф
при недропользовании,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка д. 58
e-mail: 9043846175@mail.ru

ТАМПОНИРОВАНИЕ ЗАКРЕПНОГО ПРОСТРАНСТВА ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИ АКТИВНОГО ГОРНОГО МАССИВА*

Аннотация:

Повышенные водопритоки являются осложняющим фактором при строительстве и эксплуатации подземных горных выработок. Представлены результаты исследований, выполненных с целью повышения эффективности гидроизоляционных мероприятий для обеспечения безопасности горных работ при строительстве и эксплуатации подземных выработок. Предупреждение притоков подземных вод в горные выработки может решаться одним из способов водоподавления – тампонажем – искусственным заполнением трещин и полостей в горных породах различными специальными тампонажными материалами через скважины под давлением. При выполнении тампонажа трещины и полости в горных породах заполняются тампонажными материалами через скважины под давлением, препятствующими миграции подземных вод. Тампонажные материалы характеризуются различными физико-механическими параметрами. Изучаемый вмещающий горный породный массив, представленный габбро-амфиболитами, характеризуется простыми гидрогеологическими условиями и умеренным проявлением современной геодинамической активности. Однако несмотря на значительные затраты материальных и трудовых ресурсов, эффект от выполненных гидроизоляционных тампонажных мероприятий получился весьма кратковременным. Комплексный анализ геодинамических условий, геомеханического состояния, физико-механических характеристик горных пород вмещающего массива и тампонажного материала с позиций синергетики позволил определить причину низкой эффективности выполненных гидроизоляционных мероприятий. В результате исследований определена причина низкой эффективности выполненных тампонажных работ. Установлено, что в тампонируемом массиве, представленном скальными горными породами, при проявлении современной геодинамической активности тампонажный материал должен обладать определенными физико-механическими характеристиками. Разработана оригинальная технология тампонажных работ для исследуемого объекта.

Ключевые слова: горный массив, водопритоки, тампонаж, гидроизоляция, современная геодинамическая активность, физико-механические характеристики.

DOI: 10.25635/2313-1586.2022.02.035

Dalatkazim Timur Sh.
Candidate of Technical Sciences,
Head of the Laboratory of technologies of decrease
in risk of accidents at mineral development,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
620075 Ekaterinburg,
58 Mamina-Sibiriyaka Str.
e-mail: 9043846175@mail.ru

PLUGGING OF THE FIXED SPACE OF UNDERGROUND MINE WORKINGS IN THE CONDITIONS OF GEODYNAMICALLY ACTIVE MOUNTAIN MASSIF

Abstract:

Increased water flows are a complicating factor in the construction and operation of underground mine workings. The article presents the results of studies carried out to improve the effectiveness of waterproofing measures to ensure the safety of mining operations during the construction and operation of underground workings. Prevention of groundwater inflows into mine workings can be solved by one of the methods of water suppression – plugging – artificial filling of cracks and cavities in rocks with various special grouting materials through wells under pressure. When performing plugging, cracks and cavities in rocks are filled with grouting materials through pressure wells that prevent the migration of groundwater. Grouting materials are characterized by various physical and mechanical parameters. The studied enclosing rock massif, represented by gabbro-amphibolites, is characterized by simple hydrogeological conditions and moderate manifestation of modern geodynamic activity. However, despite the significant costs of material and labor resources, the effect of the performed waterproofing grouting measures turned out to be of very short duration. A comprehensive analysis of geodynamic conditions, geomechanical state, physical and mechanical characteristics of rocks of the enclosing massif and grouting material from the standpoint of synergetics allowed us to determine the reason for the low efficiency of the performed waterproofing measures. As a result of the research, the reason for the low efficiency of the performed grouting works was determined. It is established that in the plugged massif, represented by rocky rocks, with the manifestation of modern geodynamic activity, the tamponage material must have certain physical and mechanical characteristics. An original technology of grouting works for the object under study has been developed.

Key words: mountain massif, water flows, grouting, waterproofing, modern geodynamic activity, physical and mechanical characteristics

* Исследования выполнены в рамках Госзадания № 075-00412-22 ПР, тема 3 (2022-2024), (FUWE-2022-0003), пер. № 1021062010536-3-1.5.1.

Введение

При строительстве вертикальных стволов шахт в горном массиве, представленном скальными или полускальными горными породами, повышенные водопритоки являются осложняющим фактором. Величина водопритоков определяется параметрами путей миграции воды – трещиноватостью, пористостью, карстовыми полостями породного массива.

Предупреждение притоков подземных вод в горные выработки может решаться одним из способов водоподавления – тампонажем – искусственным заполнением трещин и полостей в горных породах различными специальными тампонажными материалами через скважины под давлением. Тампонажный материал после инъецирования в горный массив препятствует миграции воды [1, 2].

Анализ практики водоподавления в горных выработках, пройденных в скальных и полускальных породах, показывает, что сохранение полученных гидроизоляционных параметров носит непродолжительный характер.

Цель. Институтом горного дела УрО РАН были выполнены исследования геомеханических и гидрогеологических особенностей вмещающего породного горного массива для разработки технологии выполнения эффективных гидроизоляционных мероприятий с использованием тампонажа в шахтном стволе «Скиповой». Актуальность выполненных исследований определяется необходимостью обеспечения безопасности горных работ при строительстве и эксплуатации подземных выработок.

Объект исследований

Вмещающий массив шахтного ствола «Скиповой» до глубины 40 м представлен суглинками, глинами, обломками выветрелых габбро-амфиболитов, до глубины 910 м – габбро, амфиболитами, габбро-амфиболитами.

Тампонажные работы выполнялись в интервале глубин 68,0 – 307,0 м. Здесь в период строительства наблюдались повышенные водопритоки [3].

До глубины 1010 м крепь в стволе выполнена железобетонными кольцами.

Для породного массива ствола «Скиповой» характерны трендовые и короткопериодные циклические смещения, вызывающие деформации, наличие в поле напряжений горизонтальной тектонической компоненты, которой, согласно общепринятым представлениям, в трещиноватых массивах быть не должно.

Важную роль в формировании напряженно-деформированного состояния массива, вследствие блочно-иерархического строения, характерного для массивов скальных горных пород рудных месторождений, играют взаимные перемещения структурных породных блоков [11].

Геодинамическая активность вмещающего массива умеренная. Трендовые смещения здесь не превышают 75 мм. Геодинамические характеристики, согласно результатам замеров смещений 40 реперных пунктов на поверхности всего шахтного поля и в его окрестностях, полученные методами спутниковой геодезии с использованием двухсистемных (GPS-ГЛОНАСС) двухчастотных приемников геодезического класса Sokkia GRX-1 (паспортная и фактическая точность 3 - 5 мм+1 ppm в плане и 5 – 7мм +1 ppm по высоте), свидетельствуют о более низкой геодинамической активности участка ствола «Скиповой» относительно соседних блоков породного массива [4 – 9; 12, 13].

В зоне влияния горных работ наблюдаются три водоносных комплекса:

- техногенный, приуроченный к отвалам пустых пород;
- палеоген-меловой – связанный с породами осадочного чехла;
- нижний – трещинные воды скальных метаморфизованных пород палеозойского фундамента.

Водоносный комплекс скальных метаморфизованных пород палеозойского фундамента является основным, участвующим в обводнении шахтного поля. По режиму уровня и гидродинамике подземные воды комплекса безнапорные. Питание потока

подземных вод в пределах шахтного поля происходит за счет естественного потока, поступающего из-за пределов рассматриваемой площади и за счет инфильтрации атмосферных осадков. Горный массив шахтного поля относится к зоне активного водообмена. Амплитуда колебаний уровня воды в течение года изменяется от 2,7 до 6,6 м. Колебания уровней подземных вод имеют сезонный характер.

Фильтрационные свойства комплекса скальных метаморфизованных пород палеозойского фундамента низкие и весьма неоднородные. Гидростатические напоры высокие (до 400 – 500 м), при них возникает опасность повышенных водопритоков в горные выработки при подсечении обводненных зон, приуроченных к тектоническим нарушениям или к областям первичной повышенной трещиноватости.

Методы

Исследование причин низкой эффективности водоподавления в стволе с помощью тампонажных работ оценивалась на основании:

- анализа результатов режимных наблюдений за водопритоками в ствол из вмещающего горного массива. Рассматривались данные по водопритокам за периоды до тампонажных работ, при их выполнении и после завершения;
- анализа параметров вмещающего массива горных пород;
- сравнительного анализа физико-механических характеристик примененного тампонажного материала и горных пород вмещающего горного массива.

Результаты

Непосредственно проходка ствола «Скиповой» сопровождалась опережающим инъекционным тампонажем в забой. При этом до глубины 108,0 м водопритоки изменялись в пределах 1,0 – 14,0 м³/час. Далее в интервале глубин забоя 115,0 – 136,0 м водоприток составил 24 – 30 м³/час (табл. 1) в период с мая 2016 по декабрь 2017 г. и являлся максимальным из зафиксированных в стволе «Скиповой» в период строительства.

С 23.12.17 по 29.12.17 в интервале глубин 109,0 – 128,0 м выполнено инъецирование тампонажного материала INSTA GROUT в закрепное пространство. Общий объем использованного в данном интервале тампонажного материала в декабре 2017 г. составил 21772 л. После выполненных тампонажных работ объем водопритоков резко снизился (табл. 1, табл. 2, рис. 1). Так, 11.01.18 г. при глубине забоя 145 м водоприток составил 10 м³/час, 18.01.18 г. на глубине 156 м – 7,5 м³/час. Среднемесячный объем водопритоков за январь 2018 г. составил 7,5 м³/час, за февраль – 8,0 м³/час, за март – 8,0 м³/час, но в апреле 2018 г. – уже 10,0 м³/час.

Таким образом, после выполненных тампонажных работ объем водопритоков резко снизился, но через непродолжительный период времени начал увеличиваться.

Таблица 1

Значения водопритоков при проходке ствола «Скиповой»

№ п/п	Глубина, м	Приток воды, м ³ /ч	Дата замера
1	34	1,0	25.11.2010
2	40	1,0	15.09.2015
3	54,25	2,5	15.10.2015
4	61,0	14	20.11.2015
5	65,0	1,5	19.01.2016
6	108,0	2,5	25.03.2016
7	115,0	27,0	25.05.2016
8	129,0	24,0	08.12.2017
9	136,0	30,0	20.12.2017
10	145,0	10,0	11.01.2018
11	156,25	7,5	18.01.2018

Окончание табл. 1

12	169,25	5,0	11.02.2018
13	177,0	8,0	16.02.2018
14	192,25	8,0	12.03.2018
15	198,25	7,5	16.03.2018
16	204,25	7,3	18.03.2018
17	210,25	7,8	22.03.2018
18	222,0	9,5	21.04.2018
19	264,25	5,2	01.07.2018
20	288,25	5,6	23.07.2018
21	295,25	5,5	23.07.2018
22	349,0	6,8	11.10.2018
23	367,0	3,5	29.10.2018
24	394,0	3,6	06.12.2018
25	649,0	3,5	05.06.2019
26	727,0	4,0	02.08.2019
27	768,0	9,0	02.09.2019
28	818,0	8,0	04.10.2019
29	876,0	9,2	12.11.2019

Таблица 2

**Среднемесячные значения водопритоков в ствол «Скиповой»
в период с октября 2017 по февраль 2020 г.**

№ п./п.	Месяц, год	Среднемесячный водоприток м ³ /час
1	Октябрь, 2017	30,0
2	Ноябрь, 2017	30,0
3	Декабрь, 2017	28,0
4	Январь, 2018	7,5
5	Февраль, 2018	8,0
6	Март, 2018	8,0
7	Апрель, 2018	10,0
8	Май, 2018	7,5
9	Июнь, 2018	8,0
10	Июль, 2018	5,5
11	Август, 2018	5,5
12	Сентябрь, 2018	6,2
13	Октябрь, 2018	6,8
14	Ноябрь, 2018	3,2
15	Декабрь, 2018	3,6
16	Январь, 2019	3,7
17	Февраль, 2019	4,2
18	Март, 2019	4,6
19	Апрель, 2019	4,6
20	Май, 2019	3,6
21	Июнь, 2019	3,5
22	Июль, 2019	3,8
23	Август, 2019	4,0
24	Сентябрь, 2019	3,7
25	Октябрь, 2019	8,0
26	Ноябрь, 2019	9,2
27	Декабрь, 2019	9,2
28	Январь, 2020	8,5
29	Февраль, 2020	8,5

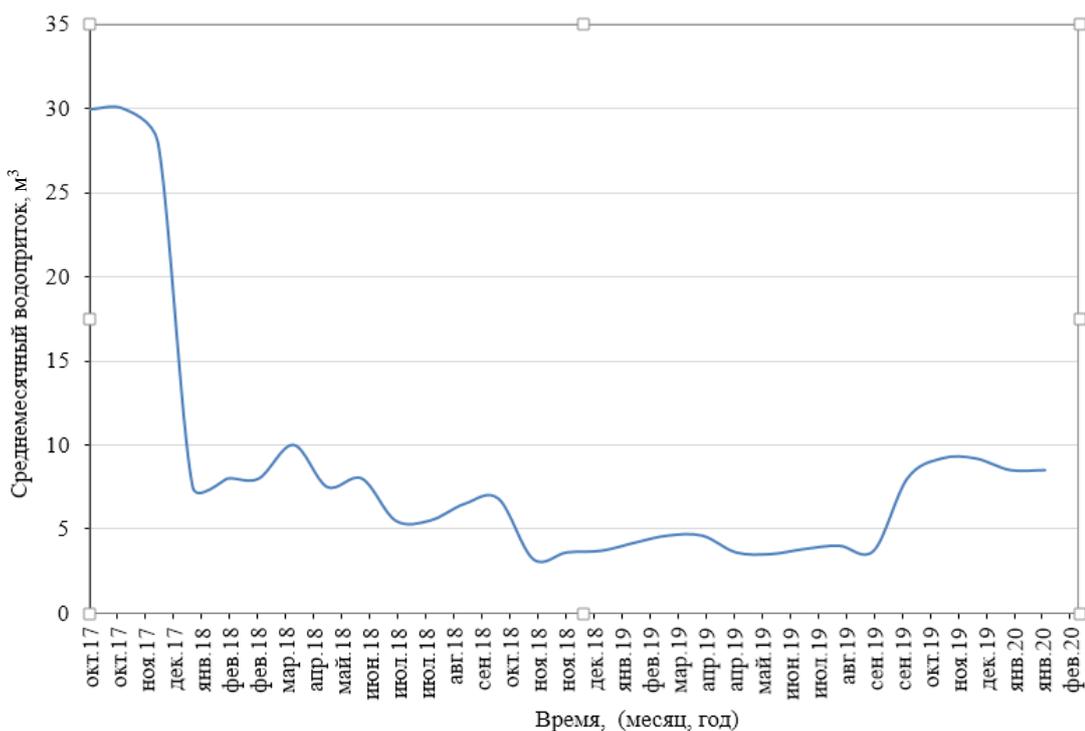


Рис. 1. Распределение среднемесячных значений водопритоков в стволе «Скиповой» шахты

В период с апреля по октябрь 2018 г. в интервале глубин ствола 68,0 – 307 м были продолжены работы по последовательному тампонажу закрепного пространства с использованием материала INSTA-GROUT общим объемом 114971 л. Выбор участков для инъецирования определялся на основе информации о фактическом положении водообильных зон в период проходки ствола и по результатам визуальной оценки интенсивности водопроявлений через бетонную крепь. В период проведения данного этапа тампонажных работ наблюдалось снижение среднемесячных водопритоков с 10,0 м³/час в апреле 2018 г. до 6,8 м³/час в октябре 2018 г. В ноябре, после завершения этапа, объем водопритоков снизился до 3,2 м³/час. Но далее среднемесячные водопритоки начали увеличиваться и уже в ноябре 2019 г. составили 9,0 м³/час (см. табл. 2, рис. 1).

Анализ информации о среднегодовых водопритоках в ствол (табл. 3, рис. 2) показывает, что после выполненных тампонажных мероприятий значения объемов поступающей воды резко снижаются, но через непродолжительное время начинают увеличиваться.

Таблица 3

Среднегодовые значения водопритоков в ствол «Скиповой» шахты

№ п/п	Год	Среднегодовой водоприток $V_{\text{ср. год}}$, м³/час
1	2017	Более 25
2	2018	5,2
3	2019	7,8
4	2020	8,9
5	2021	9,3

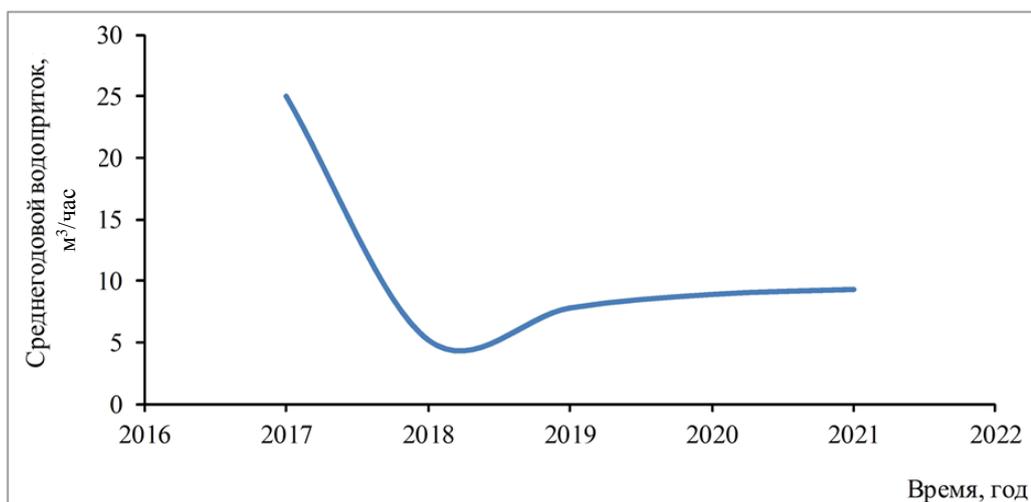


Рис. 2. Распределение среднегодовых водопритоков в ствол «Скиповой» 2-й очереди шахты

Таким образом, несмотря на простые гидрогеологические условия и умеренную геодинамическую активность эффект от выполненных тампонажных мероприятий имеет кратковременный характер.

С целью определения механизма формирования новых путей миграции подземных вод в закрепном породном массиве ствола «Скиповой» после выполненных тампонажных работ с использованием состава INSTA GROUT были выполнены аналитические исследования.

Для тампонирувания массива применялся полимерный состав INSTA GROUT, имеющий следующие прочностные характеристики после застывания:

- прочность при сжатии при свободном боковом расширении после активации:
 - через 1 час – 11,0 МПа;
 - через 24 часа – 24,0 МПа;
 - через 28 суток – 30 МПа;
- предел прочности на разрыв через 28 сут. после активации составляет 10,0 МПа;
- предел прочности при сдвиге через 28 сут. после активации составляет 34 МПа.

После застывания полимерный состав INSTA GROUT теряет вязкопластичность и не может проникнуть в полости трещин, возникших уже после выполнения тампонажа под влиянием современной геодинамической активности [10, 14]. Вязкопластичность – свойство материала, состоящее в том, что с ростом напряжений в нем сначала появляются упругие деформации, а затем, при достижении некоторого порогового напряжения σ_T , называемого пределом текучести, начинается вязкое течение [15].

Также было выполнено сравнение прочностных характеристик габбро-амфиболитов и инъецированного в них тампонажного материала (табл. 4). Сравнение показывает, что прочностные характеристики полимерного состава INSTA GROUT выше, чем у габбро-амфиболитов.

Таблица 4

Прочностные характеристики породного массива на участке выполнения гидроизоляционных работ и тампонажного материала INSTA GROUT

Прочностные свойства	Габбро-амфиболиты зоны вторичного трещинообразования	Тампонажный материал INSTA-GROUT
Предел прочности на сжатие, МПа	13,5	30
Предел прочности на растяжение, МПа	1,8	10

Сравнительный анализ физико-механических характеристик габбро-амфиболитов и инъектированного в них тампонажного материала позволил объяснить кратковременность эффекта от выполненных гидроизоляционных мероприятий. После достижения материалом INSTA GROUT паспортных прочностных характеристик в полостях трещин при проявлении современной геодинамики происходит хрупкое деформирование менее прочных габбро-амфиболитов. В результате формируются новые пути миграции подземных вод.

Исходя из рассмотрения физико-механических характеристик тампонажного материала, результатов сравнительного анализа, для достижения эффективной гидроизоляции при проявлении современной геодинамической активности в тампонируемом массиве горных пород необходимо обеспечить следующие условия:

- тампонажный материал должен быть вязкопластичным в течение всего периода эксплуатации;
- тампонажный материал должен увеличиваться в объеме после активации и заполнять весь объем полости трещины;
- σ_T тампонажного материала $<$ $\sigma_{сж.}$ горной породы,

где

- σ_T тамп. матер. – предел текучести тампонажного материала;
- $\sigma_{сж.}$ горн. породы – сопротивление сжатию пород тампонируемого массива.

Необходимыми характеристиками обладают тампонажные полимерные составы на основе бентонита, например НАТЛЕН-2.

Инъекционный герметизирующий гидроизоляционный состав для ликвидации течей на основе полимерно-минерального композита НАТЛЕН-2 состоит из фракционных отобранных песков и водонабухающих добавок. При взаимодействии с водой частицы водонабухающих добавок, входящих в состав этой смеси, расширяются, увеличиваясь в объеме более чем в 20 раз, образуя однородную по гидроизоляционным свойствам массу. Материал имеет устойчивую способность к расширению и набуханию при многократном замачивании водой и высушивании с сохранением гидроизоляционных свойств.

Тампонажный состав на основе полимерно-минерального композита НАТЛЕН-2 имеет следующие преимущества:

- гидроизолирующий состав не твердеет и всегда находится в вязкопластичном состоянии;
- за счет постоянного вязкопластичного состояния и способности к увеличению объема уже находящийся в массиве состав НАТЛЕН-2 в случае изменения геометрических параметров полостей из-за геодинамических движений синхронно изменяет форму и объем, противодействуя формированию путей миграции воды;
- при статических и динамических нагрузках в процессе эксплуатации в материале не образуются трещин;
- после набухания материал не подвержен суффозии;
- характеризуется высокой проникающей и тампонирующей способностями.

Известен положительный опыт использования полимерно-минерального композита НАТЛЕН-2 для гидроизоляции тоннелей и вертикальных стволов в Московском и Санкт-Петербургском метрополитенах. Для его использования в горных выработках на больших по сравнению с метрополитеном глубинах необходимо учесть высокие гидростатические напоры подземных вод, также рекомендуются предварительные опытно-методические исследования.

Результаты

На основании анализа геомеханического состояния приконтурного массива ствола, материалов режимных наблюдений за водопритоками в ствол «Скиповой», технологии и результатов ранее выполненных здесь тампонажных работ, опыта примене-

ния полимерных тампонажных составов на основе бентонита для гидроизоляции подземных сооружений в метрополитенах был разработан алгоритм гидроизоляционных мероприятий, состоящий из двух этапов, учитывающий повышение напоров подземных вод с глубиной.

На первом этапе с целью временного перехвата высоконапорных подземных вод в приконтурный породный массив вокруг выработки на расстоянии 4 м от крепи инъецируется тампонажный материал на цементной основе. Здесь формируется защитный гидроизоляционный экран, позволяющий на втором этапе тампонажных мероприятий сформировать в закрепном пространстве между цементным экраном и крепью вязкопластичную защитную оболочку, обеспечивающую гидроизоляцию на период эксплуатации выработки в условиях проявления современной геодинамической активности. Для этого в закрепное пространство, на расстояние 2 м от крепи, инъецируется тампонажный материал на бентонитовой основе.

Вывод

Научная актуальность выполненных исследований определяется необходимостью обеспечения безопасности горных работ при строительстве и эксплуатации подземных выработок.

Предметом представленных результатов исследований является эффективность гидроизоляционных мероприятий в условиях скального, геодинамически активного массива горных пород, выполняемых для обеспечения безопасности горных работ.

Представленные в статье материалы исследований имеют практическое значение при проектировании гидроизоляционных тампонажных работ в скальном, характеризующемся проявлением современной геодинамической активности массиве.

Список литературы

1. Ломтадзе В.Д., 1970. *Инженерная геология, инженерная петрология*. Ленинград: Недра, 528 с.
2. Кипко Э.Я., Полозов Ю.А., Лушникова О.Ю. и др., 1989. *Тампонаж обводненных горных пород. Справочное пособие*. Москва: Недра, 318 с.
3. Бакиров А.Г., 1950. К геологии Кемпирсайского гипербазитового массива. *Известия Томского Ордена Трудового Красного Знамени политехнического института имени С. М. Кирова*, Т. 65., С. 158 - 163
4. Панжин А.А., Ручкин В.И., Третьяк А.В., 2014. Диагностика современной геодинамической активности массива и исследование процесса сдвижения на шахтах Донского ГОКа. *Горный журнал Казахстана*, № 3, С. 32 -36.
5. Панжин А.А., 2007. Исследование геодинамики породного массива на шахтах Донского ГОКа. *Научно-техническое обеспечение горного производства: труды Института горного дела им. Д.А. Кунаева, Алматы*, С. 42 - 48.
6. Балек А.Е., Панжин А.А., 2018. Мониторинг деформационных процессов в породном массиве донских хромитовых месторождений: учет влияния иерархической блочности. *Современные проблемы механики*, № 33 (3), С. 83 - 91.
7. Беляев, В.Ф., Пястолов А.В., 1967. *Механические и физико-химические способы укрепления горных пород*. Москва: Недра, 116 с.
8. Айтматов И.Т., Кравцов Б.И., Половов Б.Д., 1972. *Тампонирующее обводнение горных пород в шахтном строительстве*. Москва: Недра, 141с.
9. Литвин А.З., Поляков Н.М., 1974. *Проходка стволов шахт специальными способами*. Москва: Недра, 250 с.
10. Тарасов В.В., Пестрикова В.С., 2014. Опыт применения полиуретановых смол для гидроизоляции шахтных стволов калийных рудников. *Известия ТулГУ. Науки о Земле*, Вып. 1, С. 40 – 47.

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. Mirek Adam, Oset Krzysztof, 2014. Оценка воздействия сейсмичности, индуцируемой горной деятельностью, на строительные объекты на основании шкал. *Ocena oddziaływania sejsmiczności indukowanej działalnością górniczą na obiekty budowlane na podstawie wybranych skal*. *Prz. gór.* 70, № 6, с. 49 - 53.
13. Sepehri M., Apel D., Liu W., 2017. Stope stability assessment and effect of horizontal to vertical stress ratio on the yielding and relaxation zones around underground open stopes using empirical and finite element methods. *Archives of Mining Sciences*, Vol. 62, № 3, P. 653 - 669. DOI: 10.1515/amsc-2017-0047
14. *BTS/ABIThe joint code of practice for risk management of tunnel works in the UK*. London: BTS, 2003. [Electronic resource]. URL: www.britishtunnelling.org/ (date of access: 21.10.2016)
15. Рейнер М., 1963. *Деформация и течение*. Москва: Гостоптехиздат, 381 с.

References

1. Lomtadze V.D., 1970. *Inzhenernaya geologiya, inzhenernaya petrologiya* [Engineering geology, engineering petrology]. Leningrad: Nedra, 528 p.
2. Kipko E.Ya., Polozov Yu.A., Lushnikova O.Yu. i dr., 1989. *Tamponazh obvodnennykh gornyx porod* [Grouting of watered-flooded rocks]. *Spravochnoe posobie*. Moscow: Nedra, 318 p.
3. Bakirov A.G., 1950. К геологии Kempirsaisкого гипербазитового массива [On the geology of the Kempirsai hyperbasite massif]. *Izvestiya Tomskogo Ordena Trudovogo Krasnogo Znameni politekhnicheskogo instituta imeni S. M. Kirova*, Vol. 65., P. 158 - 163
4. Panzhin A.A., Ruchkin V.I., Tret'yak A.V., 2014. Diagnostika sovremennoi geodinamicheskoi aktivnosti massiva i issledovanie protsessa sdvizheniia na shakhtakh Donskogo GOKa [Diagnostics of modern geodynamic activity of the massif and investigation of the process of displacement at the mines of the Donsky MPP]. *Gornyi zhurnal Kazakhstana*, № 3, P. 32 -36.
5. Panzhin A.A., 2007. *Issledovanie geodinamiki porodnogo massiva na shakhtakh Donskogo GOKa* [Study of the geodynamics of the rock mass at the mines of the Donsky MPP]. *Nauchno-tekhnicheskoe obespechenie gornogo proizvodstva: trudy Instituta gornogo dela im. D.A. Kunaeva, Almaty*, P. 42 - 48.
6. Balek A.E., Panzhin A.A., 2018. Monitoring deformatsionnykh protsessov v porodnom massive donskikh khromitovykh mestorozhdenii: uchet vliyaniya ierarkhicheskoi blochnosti [Monitoring of deformation processes in the rock mass of the Don chromite deposits: taking into account the influence of hierarchical blockiness]. *Sovremennye problemy mekhaniki*, № 33 (3), P. 83 - 91.
7. Belyaev, V.F., Piastolov A.V., 1967. *Mekhanicheskie i fiziko-khimicheskie sposoby ukrepleniya gornyx porod* [Mechanical and physical&chemical methods of strengthening rocks]. Moscow: Nedra, 116 p.
8. Aitmatov I.T., Kravtsov B.I., Polovov B.D., 1972. *Tamponirovanie obvodnennykh gornyx porod v shakhtnom stroitel'stve* . [Tamponing of watered rocks in mine construction]. Moscow: Nedra, 141p.
9. Litvin A.Z., Polyakov N.M., 1974. *Prokhodka stvolov shakht spetsial'nymi sposobami* [Sinking of mine shafts by special methods]. Moscow: Nedra, 250 p.
10. Tarasov V.V., Pestrikova V.S., 2014. Opyt primeneniya poliuretanovykh smol dlya gidroizolyatsii shakhtnykh stvolov kaliinykh rudnikov [Experience in the use of polyurethane resins for waterproofing the potash mine shafts]. *Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle, Vyp. 1*, P. 40 – 47.

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. Mirek Adam, Oset Krzysztof, 2014. Оценка воздействия сейсмичности, индуцируемой горной деятельностью, на строительные объекты на основании шкал. Ocena oddziaływania sejsmiczności indukowanej działalnością górniczą na obiekty budowlane na podstawie wybranych skal. *Prz. gór.* 70, № 6, p. 49 - 53.

13. Sepehri M., Apel D., Liu W., 2017. Stope stability assessment and effect of horizontal to vertical stress ratio on the yielding and relaxation zones around underground open stopes using empirical and finite element methods. *Archives of Mining Sciences*, Vol. 62, № 3, P. 653 - 669. DOI: 10.1515/amsc-2017-0047

14. BTS/ABIThe joint code of practice for risk management of tunnel works in the UK. London: BTS, 2003. [Electronic resource]. URL: www.britishtunnelling.org/ (date of access: 21.10.2016).

15. Reiner M., 1963. *Deformatsiya i techenie* [Deformation and flow]. Moscow: Gostoptekhizdat, 381 p.