

УДК 622.5:551.2

Шевченко Максим Дмитриевич
младший научный сотрудник,
лаборатория технологии снижения
риска катастроф при недропользовании,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: sevchenkomaaksim625@gmail.com

**РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ
МЕТОДИКИ ПОИСКА ВОДОНОСНЫХ ЗОН
МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД С УЧЕТОМ
СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИХ
И СОВРЕМЕННЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ
ОСОБЕННОСТЕЙ УЧАСТКА НЕДР**

Аннотация:

Представлен материал по разработке комплексной методики определения водоносных зон массива горных пород с учетом его современной геодинамической активности и структурно-тектонических особенностей. Актуальность исследований обусловлена возникновением катастроф природно-техногенного характера, таких как затопление подземных горных выработок, обрушение бортов карьеров, прорыв пьезунов и др., что связано с обводненным состоянием массива горных пород.

Задача, решаемая в исследованиях, заключается в повышении эффективности проведения мероприятий по осушению месторождений полезных ископаемых за счет определения мест заложения водопонижительных скважин. Объектом исследований выступает массив горных пород, находящийся в обводненном состоянии. Предмет исследования – зависимость формирования обводненности массива горных пород от современных геодинамических движений.

Исследования включают в себя комплекс следующих методов: гидрогеомеханический анализ, цель которого заключается в определении пространственной ориентировки тектонических разломов и их кинематического типа, метод разведочной геофизики (метод срединного градиента – МСГ), который позволяет определить и картировать зоны пониженного удельного сопротивления, т.е. тектонических нарушений, и метод спектрального сейсмопрофилирования (ССП), цель которого заключается в определении глубины зоны трещиноватости массива горных пород.

Полученные результаты исследований представлены в виде структурно-геоэлектрической модели, на которой отражены участки с высокой водопроницаемостью породного массива, что позволяет наиболее точно расположить водопонижительные скважины.

Исследование зависимости формирования зон проницаемости массива горных пород от совре-

DOI: 10.25635/2313-1586.2022.04.114

Shevchenko Maxim D.
Junior Researcher,
Laboratory of technologies for reducing
the risk of disasters during mining,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
620075 Ekaterinburg,
58 Mamina-Sibiryaka Str.
e-mail: sevchenkomaaksim625@gmail.com

**DEVELOPMENT OF A COMPLEX METHOD
FOR FINDING WATER ZONES OF A ROCK
MASSIF TAKING INTO ACCOUNT
THE STRUCTURAL-TECTONIC
AND CURRENT GEODYNAMIC FEATURES
OF A SUBSOIL AREA**

Annotation:

The article presents material on the development of a comprehensive methodology for determining the aquifers of a rock massif, taking into account its modern geodynamic activity and structural and tectonic features. The relevance of research bases on the occurrence of disasters of a natural and man-made nature, such as: flooding of underground mine workings, collapse of quarry walls, breakthrough of quicksand, etc., which are associated with the flooded state of the rock mass.

The problem solved in the research is to increase the efficiency of carrying out measures to drain mineral deposits by determining the locations of dewatering wells.

The object of research is a rock mass, which is in a watered state. The subject of the study is the dependence of the formation of water cut in a rock mass on modern geodynamic movements.

The research includes a set of the following methods: hydrogeomechanical analysis, the purpose of which is to determine the spatial orientation of tectonic faults and their kinematic type; the method of exploration geophysics (median gradient method - MGM), which allows us to identify and map zones of reduced resistivity i.e. tectonic disturbances; and the method of spectral seismic profiling (SSP), the purpose of which is to determine the depth of the zone of fracturing of the rock mass.

The obtained research results we presented in the form of a structural-geolectric model, reflecting areas with high water permeability of the rock mass, which allows the most accurate location of water-reducing wells.

The study of the dependence of the formation of permeability zones of a rock mass on modern geodynamics will significantly improve the quality of drainage of mineral deposits located in difficult hydrogeological conditions and, as a result, minimize the risk of disasters, improve the quality of raw materials and the efficiency of mining operations, and significantly reduce the cost of building of drainage systems.

менной геодинамики позволит значительно повысить качество осушения месторождений полезных ископаемых, находящихся в сложных гидрогеологических условиях и, как следствие, минимизировать риск возникновения катастроф, повысить качество сырья и эффективность выполнения горных работ, значительно снизить затраты на сооружение систем водоотведения.

Ключевые слова: геодинамика, прорыв подземных вод, осушение, подземные горные выработки, активность, водопонижение, тектонические нарушения, водоносные зоны, трещины, природно-техногенные катастрофы, дренаж, разведочная геофизика, спектральное сейсмопрофилирование.

Key words: geodynamics, groundwater breakthrough, dewatering, underground mine workings, activity, dewatering, tectonic disturbances, aquifers, cracks and cavings, natural and man-made disasters, drainage, exploration geophysics, spectral seismic profiling.

Введение

В настоящее время Россия занимает одно из ведущих мест по добыче и экспорту природных ресурсов. Согласно данным о социально-экономическом положении России [1], в декабре 2021 г. индекс производства по виду деятельности «Добыча полезного ископаемого» составил 110,0 % (около 1,1 млрд т/год) по сравнению с прошлым годом, что говорит о росте добычи полезных ископаемых. Однако наряду с ростом добычи наблюдается и рост количества катастроф природно-техногенного характера, вызывающих социально-экономические потери. По данным исследований, за последние 10 лет во всем мире и на территории РФ было выявлено свыше 5 тысяч катастроф природного и техногенного характера [2 – 3]. Большую роль в техногенных катастрофах играют геологические катастрофы, связанные с антропогенной деятельностью: ведением буровзрывных работ, выемкой породы, изменением природных условий и т.д. [4].

При разработке месторождений полезных ископаемых одной из причин катастроф являются сложные гидрогеологические условия и связанная с ними обводненность массива горных пород, влияющая на прорывы подземных вод и пльвунов в подземные горные выработки, вследствие чего образуются провалы на земной поверхности, а при открытой разработке приводящая к оползням, суффозии и т.д. [5 – 8].

Увеличение объемов добычи полезного ископаемого и истощения запасов приповерхностных месторождений привело к необходимости освоения глубокозалегающих месторождений, расположенных в сложных гидрогеологических условиях, требующих качественного выполнения осушения. На сегодняшний день существуют системы осушения, однако они имеют ряд негативных качеств. Во-первых, использование дренажных штреков достаточно эффективно, но данный метод осушения является дорогостоящим как при строительстве, так и при содержании, поэтому практически не используется на предприятиях. Во-вторых, система осушения месторождения методом скважинного водозабора по периметру месторождения имеет низкую эффективность, поскольку в основном скважины малопродуктивны или вовсе являются «сухими». Поэтому даже на оборудованных подобными системами месторождениях обводненность остается актуальной проблемой.

Фактором, влияющим на обводненность массива, является взаимосвязь проницаемости массива горных пород и современных геодинамических движений. В результате движения массива горных пород трещины остаются раскрытыми, увеличиваются в размере, создается сеть трещин, не поддающихся процессу коагуляции, что влияет на увеличение проницаемости массива горных пород и на гидрогеологические условия в целом [9 – 15]. В формировании зоны трещиноватости основную роль играют современные тектонические движения и их пересечение (рис. 1), в результате чего образуются зоны растяжения, которые выступают в роли коллектора для подземных вод [16].

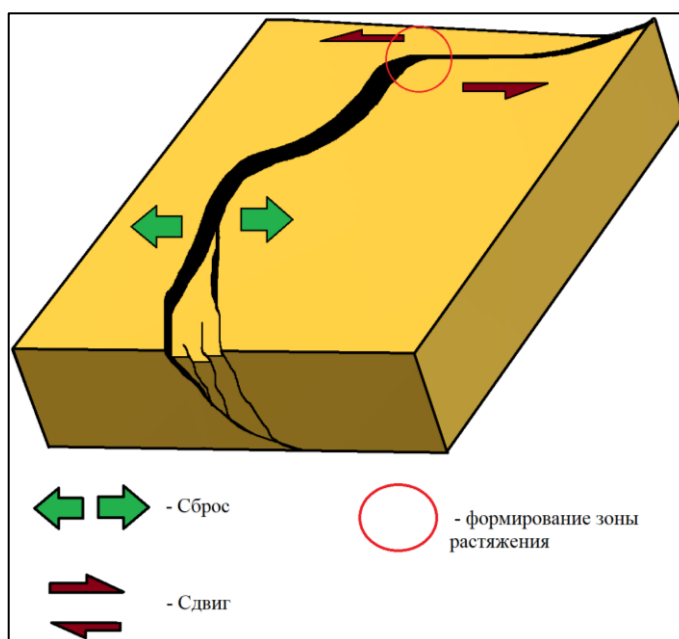


Рис. 1. Модель формирования зон растяжения земной коры при пересечении разломов различного кинематического типа

Следовательно, при проведении мероприятий по осушению месторождения полезных ископаемых необходимо учитывать современные геодинамические движения, структурные особенности массива пород и пространственное пересечение тектонических нарушений, формирующих узлы разлома.

В данной работе основная цель заключается в разработке комплексной методики поиска водоносных зон массива горных пород с учетом его геодинамических и структурно-тектонических особенностей.

Решаемая задача, поставленная в исследованиях, заключается в повышении эффективности проведения мероприятий по осушению месторождений полезных ископаемых. Решение данной задачи позволит не только определить место заложения скважин, но и значительно повысить эффективность выполнения горных работ, качество сырья и минимизировать риск катастроф, а также уменьшить затраты на выполнение работ по осушению месторождения.

Методы исследования

Исследования включают в себя комплекс методов, состоящий из гидрогеомеханического анализа территории, метода разведочной геофизики и спектрального сейсмопрофилирования.

Метод гидрогеомеханического анализа проводился с целью определения пространственной ориентированности тектонических нарушений и определения их кинематического типа. Методика проведения анализа заключается в выделении структурных элементов-линементов и дальнейшем построении розы-диаграммы с учетом их размеров [17, 18].

Электроразведочное исследование методом срединного градиента (СГ) проводится вкрест структурно-тектонического нарушения или на пересечении узлов разломов. Метод СГ выполняется с сохранением постоянной длины питающих электродов «А» и «В» и перемещении приемных электродов «М» и «N». Шаг перемещения составляет 5 м. Глубина исследования принимается как $1/3 \cdot AB/2$ (рис. 2). На исследуемом участке расстояние АВ составило 550 м, соответственно, глубина исследования равна 92 м. На основании разностей потенциалов между электродами «М» и «N», полученных в полевых условиях, рассчитывается удельное сопротивление. Удельное сопротивление пород (ρ_k) рассчитывается по формуле [19].

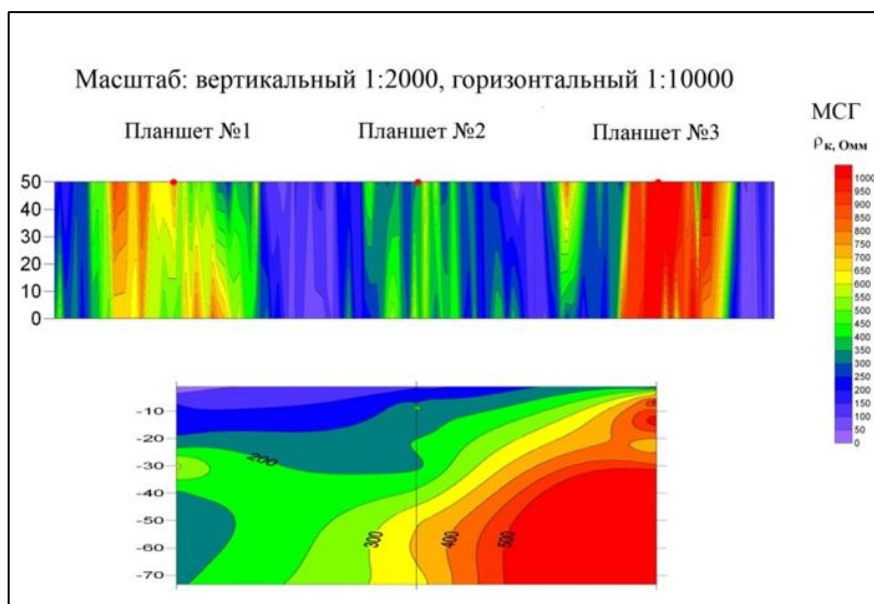


Рис. 2. Пример использования метода СГ для поиска неоднородностей

Метод спектрального сейсмопрофилирования (ССП) применялся с целью определения зон трещиноватости массива горных пород. Результатом исследований служит ССП-разрез, представляющий собой совокупность изображений сейсмосигналов (рис. 3). Более детально ознакомиться с методом спектрального сейсмопрофилирования можно на сайте автора метода [20]. Шаг по профильной линии, на участке работ, обычно составляет 5 м. Количество профильных линий и их длина варьируются в зависимости от площади участка.

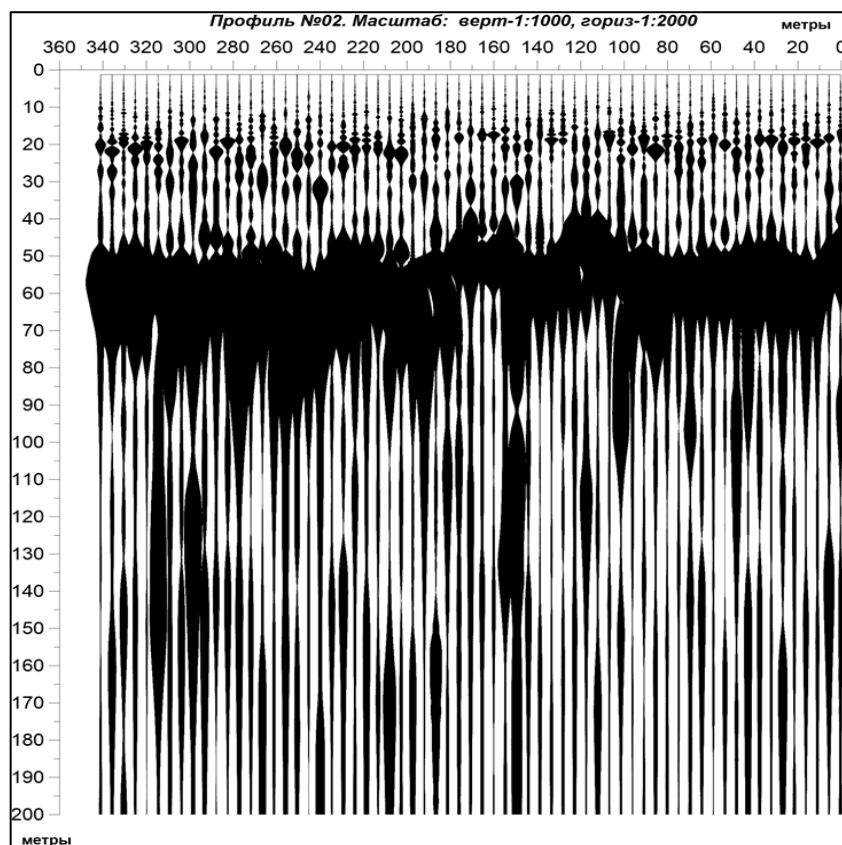


Рис. 3. Пример профиля спектрального сейсмопрофилирования

Результаты исследований

Результатом исследований служит структурно-геоэлектрическая модель участка работ (рис. 4), построенная по результатам комплексирования методов гидрогеомеханического анализа, срединного градиента и спектрального сейсмопрофилирования.

По данным гидрогеомеханического анализа главное максимальное напряжение (ГМН) имеет преобладание по направлению 280° – 290° . Хорошо выражены взбросовые структуры с азимутами простирания 350° – 10° . Линеаменты, отражающие простирание сдвиговых структур, имеют азимуты от 320° – 340° («левые сдвиги»).

По данным электроразведки зоны проницаемости массива горных пород имеют азимут простирания 260° – 285° . Наиболее рентабельными участками для размещения скважинного водозабора, являются северная и южная части планшета геофизических работ (области зеленого цвета). Зона трещиноватости, по данным метода ССП, располагается на глубине 50 – 80 м.

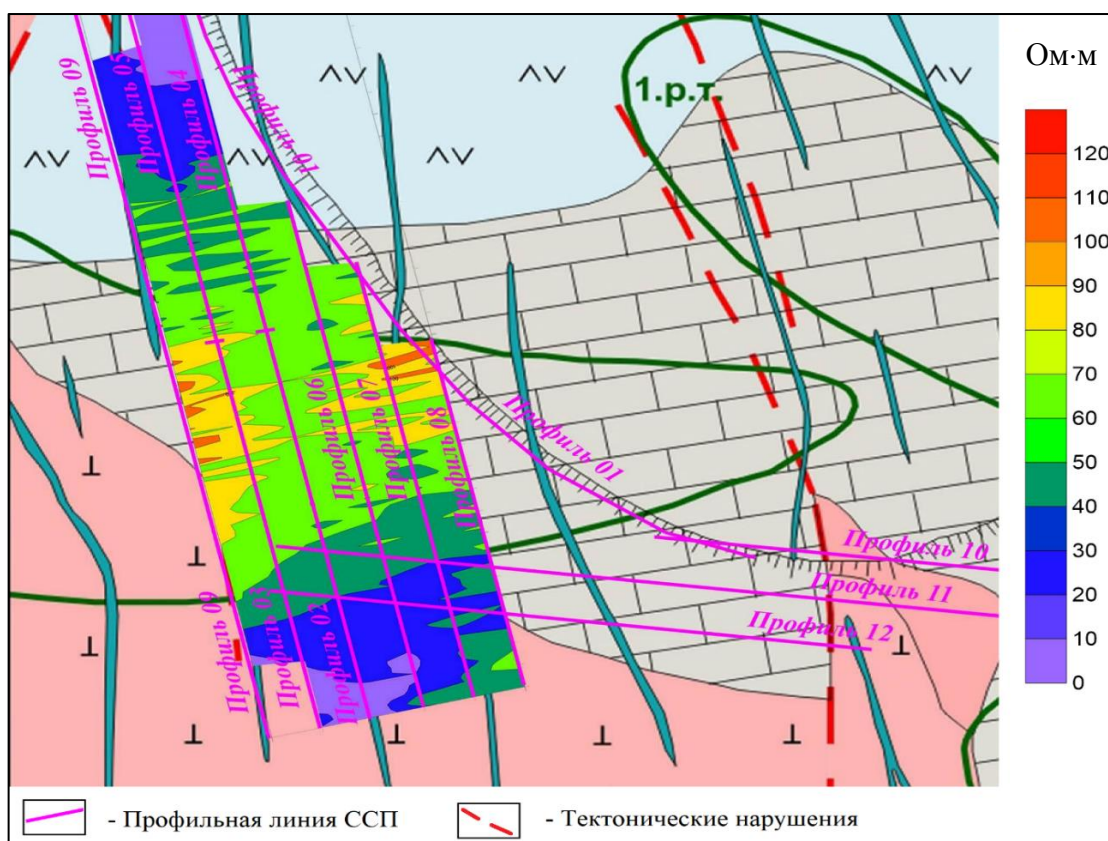


Рис. 4. Структурно-геоэлектрическая модель участка работ

Заключение

По результатам исследований можно сделать следующие выводы. На данном этапе развития человеческой цивилизации снижение катастроф природно-техногенного характера играет ключевую роль в социально-экономическом развитии не только Российской Федерации, но и других стран. Представленный новый подход к решению задачи повышения эффективности осушения месторождения полезных ископаемых позволит не только снизить до минимума катастрофические события на горных предприятиях, но и повысить качество сырья, улучшить эффективность ведения работ, а также снизить затраты на мероприятия по осушению месторождения. Помимо вышесказанного, комплексирование представленных выше методов позволит не только осушить месторождение, но и одновременно обеспечить водоснабжение жилых и производственных объектов.

Благодарности

Автор выражает признательность за помощь при проведении аналитических исследований зав. отделом геомеханики ИГД УрО РАН к.т.н. В.В. Мельнику.

Список литературы

1. Социально-экономическое положение России, 2021, С. 380. URL: https://www.gks.ru/bgd/regl/b21_01/Main.htm (дата обращения 29.09.2022)
2. Артюхин В.В., Морозова О.А., 2021. Крупномасштабные чрезвычайные ситуации. Понятие и статистическая повторяемость. Технологии гражданской безопасности, Т. 18, № 1(67), С. 8 - 15. DOI 10.54234/CST.19968493.2021.18.1.67.2.8. – EDN SWVSWT.
3. Миркин Я.В., 2020. Трансформация экономической и финансовой структуры мира: воздействие растущих шоков катастроф. *Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право*, Т. 13, № 4, С 97 – 116. DOI: 10.23932/2542-0240-2020-13-4-54.
4. Баришполец В.А., 2010. Системный анализ катастроф, происходящих в мире. *Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии*, 2 (1 – 2), С. 162 – 176.
5. Сашурин А.Д., Панжин А.А., Харисов Т.Ф., 2021. Роль геодинамических движений в прорывах вод в выработки при разработке месторождений в сложных гидрогеологических условиях. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*, Т. 332, № 6, С. 28 – 38. DOI 10.18799/24131830/2021/06/3233. – EDN VJINLM.
6. Мельниченко А.М., Кузина А.В., 2010. Вопросы защиты калийных рудников от затопления. *Научный вестник Московского государственного горного университета*, № 1, С. 48 – 56.
7. Милетенко Н.А., 2007. К вопросу о прорывах воды в подземные горные выработки. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 6, С. 107 – 111.
8. Сборник Региональной научно-практической конференции – студенческой научной школы филиала МАГУ в г. Апатиты: *Сборник материалов конференции, Апатиты, 28 апреля 2021 года*. Отв. редактор И.В. Вицентий. Апатиты: Филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Мурманский арктический государственный университет" в г. Апатиты, 2021. С. 10 - 27– EDN MXHAIH.
9. Мельник В.В., Харисов Т.Ф., Замятин А.Л., 2020. Методические основы комплексных геомеханических исследований для выбора оптимальных параметров осушения обводненных месторождений. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 3 – 1, С. 127 – 137. DOI 10.25018/0236-1493-2020-31-0-127-137.
10. Лукьянов А.Е., 2008. *Формирование современной гидрогеодинамической структуры Петропавловского рудного поля (Южный Урал)*. Автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. Екатеринбург: Уральский Государственный Горный Университет, С. 22.
11. Hexiong Zhu, Lijun Han, 2022. *Experimental Study on Grouting Seepage Characteristics of Single-Fractured Rock Masses with Different Inclination Angles under Three-Dimensional Stress*, *Geofluids*, vol. 2022, Article ID 1491385, 16 p., DOI 10.1155/2022/1491385
12. Chuantao Yu, Weiyang Chen, Xi Zhang, Kangxin Lei, 2022. *Review and Challenges in the Geophysical Mapping of Coal Mine Water Structure*, *Geofluids*, vol. 2022, Article ID 4578072, 14 p., DOI 10.1155/2022/4578072
13. Junjie Cai, Xijian Li, Longxing Guo, Haiteng Xue, Bize Xu, 2022. *Fracture Development and Multifield Coupling Evolution Law of Soft Overburden Rock in a Medium-Thick Coal Seam Mine*, *Geofluids*, Article ID 6371887, 14p. DOI 10.1155/2022/6371887
14. Jie Liu, Zhenhua Xu, Zhe Yuan, Hanyu Bie, Pengcheng Liu, 2018. *Numerical Simulation Study on Fracture Parameter Optimization in Developing Low-Permeability Anisotropic Reservoirs*, *Geofluids*, Article ID 1690102, 9pages, DOI 10.1155/2018/169010

15. Shichuan Zhang, Baotang Shen, Yangyang Li, Shengfan Zhou, 2019. Modeling Rock Fracture Propagation and Water Inrush Mechanisms in Underground Coal Mine, *Geofluids*, Article ID 1796965, 15 p., DOI 10.1155/2019/1796965

16. Тагильцев С.Н., Кибанова Т.Н., 2017. Гидрогеомеханические структуры растяжения и сжатия в поле современных тектонических напряжений. *Известия вузов. Горный журнал*, № 7, С. 63 – 69. DOI 10.21440/0536-1028-2017-7-63-69.

17. Шевченко М.Д., 2021. Определение закономерностей расположения тектонических нарушений для прогноза проницаемости массива горных пород. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 5 – 2, С. 174 – 180 DOI 10.25018/0236_1493_2021_52_0_174. – EDN GQNKJN.

18. Тагильцев С. ., Чередниченко А.В., Мельник В.В., 2020. Комплексование методов гидрогеомеханики, электроразведки и биолокации для выбора мест заложения гидрогеологических скважин. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 3 - 1, С. 224 – 234. DOI 10.25018/0236-1493-2020-31-0-224-234.

19. Горбунова Л.М., Захаров В.П., Музылев В.С., Онин Н.М., 1982. *Геофизические методы поисков и разведки*. Под ред. В. П. Захарова. Ленинград: Недра, 304 с.

20. Гликман А.Г. *Физика и практика спектральной сейсморазведки*. НТФ "Геофизпрогноз" URL: <http://newgeophys.spb.ru/ru/book/>. (дата обращения 10.08.2022)

References

1. Sotsial'no-ekonomicheskoe polozhenie Rossii [Social and economic situation in Russia], 2021, S. 380. URL: https://www.gks.ru/bgd/regl/b21_01/Main.htm (data obrashcheniya 29.09.2022)

2. Artyukhin V.V., Morozova O.A., 2021. Krupnomasshtabnye chrezvychainye situatsii. Ponyatie i statisticheskaya povtoryaemost'. *Tekhnologii grazhdanskoi bezopasnosti* [Large-scale emergencies. Concept and statistical repeatability. Civil safety technologies], Vol. 18, № 1(67), P. 8 - 15. DOI 10.54234/CST.19968493.2021.18.1.67.2.8. – EDN SWVSWT.

3. Mirkin Ya.V., 2020. Transformatsiya ekonomicheskoi i finansovoi struktury mira: vozdeistvie rastushchikh shokov katastrof [Transformation of the economic and financial structure of the world: the impact of growing catastrophe shocks]. *Kontury global'nykh transformatsii: politika, ekonomika, pravo*, Vol. 13, № 4, P. 97 – 116. DOI: 10.23932/2542-0240-2020-13-4-54.

4. Barishpolets V.A., 2010. Sistemnyi analiz katastrof, proiskhodyashchikh v mire. *Radioelektronika* [System analysis of catastrophes occurring in the world]. *Nanosistemy. Informatsionnye tekhnologii*, 2 (1 – 2), P. 162 – 176.

5. Sashurin A.D., Panzhin A.A., Kharisov T.F., 2021. Rol' geodinamicheskikh dvizhenii v proryvakh vod v vyrabotki pri razrabotke mestorozhdenii v slozhnykh gidrogeologicheskikh usloviyakh [The role of geodynamic movements for water breakthroughs into mining workings during field development under difficult hydrogeological conditions]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesurov*, Vol. 332, № 6, P. 28 – 38. DOI 10.18799/24131830/2021/06/3233. – EDN VJINLM.

6. Mel'nichenko A.M., Kuzina A.V., 2010. Voprosy zashchity kaliinykh rudnikov ot zatopleniya [Problems of protection of potash mines from flooding]. *Nauchnyi vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*, № 1, P. 48 – 56.

7. Miletenko N.A., 2007. K voprosu o proryvakh vody v podzemnye gornye vyrabotki [On the issue of water breakthroughs into underground mine workings]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 6, P. 107 – 111.

8. Sbornik Regional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii – studencheskoi nauchnoi shkoly filiala MAGU v g. Apatity [Collected papers of the Regional Scientific and Practical Conference – Students Scientific School of the MASU branch in Apatity]: Sbornik materialov konferentsii, Apatity, 28 aprelya 2021 goda. Otv. redaktor I.V. Vitsentii. Apatity: Filial Federal'nogo gosudarstvennogo byudzhethnogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego

obrazovaniya "Murmanskii arkticheskii gosudarstvennyi universitet" v g. Apatity, 2021. P. 10 - 27 – EDN MXHAIH.

9. Mel'nik V.V., Kharisov T.F., Zamyatin A.L., 2020. Metodicheskie osnovy kompleksnykh geomekhanicheskikh issledovaniy dlya vybora optimal'nykh parametrov osusheniya obvodnennykh mestorozhdenii [Methodical foundations of complex geomechanical research for selecting the optimal parameters of draining flooded deposits]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten', № 3 – 1, P. 127 – 137. DOI 10.25018/0236-1493-2020-31-0-127-137.

10. Luk'ianov A.E., 2008. Formirovanie sovremennoi gidrogeodinamicheskoi struktury Petropavlovskogo rudnogo polya (Yuzhnyi Ural) [Formation of the current hydrogeodynamic structure of the Petropavlovsk ore field (the Southern Urals)]. Avtoref. dis. kand. geol.-min. nauk. Ekaterinburg: Ural'skii Gosudarstvennyi Gornyi Universitet, P. 22.

11. Hexuan Zhu, Lijun Han, 2022. *Experimental Study on Grouting Seepage Characteristics of Single-Fractured Rock Masses with Different Inclination Angles under Three-Dimensional Stress*, Geofluids, vol. 2022, Article ID 1491385, 16 p., DOI 10.1155/2022/1491385

12. Chuantao Yu, Weiyang Chen, Xi Zhang, Kangxin Lei, 2022. *Review and Challenges in the Geophysical Mapping of Coal Mine Water Structure*, Geofluids, vol. 2022, Article ID 4578072, 14 p., DOI 10.1155/2022/4578072

13. Junjie Cai, Xijian Li, Longxing Guo, Haiteng Xue, Bize Xu, 2022. *Fracture Development and Multifield Coupling Evolution Law of Soft Overburden Rock in a Medium-Thick Coal Seam Mine*, Geofluids, Article ID 6371887, 14p. DOI 10.1155/2022/6371887

14. Jie Liu, Zhenhua Xu, Zhe Yuan, Hanyu Bie, Pengcheng Liu, 2018. *Numerical Simulation Study on Fracture Parameter Optimization in Developing Low-Permeability Anisotropic Reservoirs*, Geofluids, Article ID 1690102 ,9pages, DOI 10.1155/2018/169010

15. Shichuan Zhang, Baotang Shen, Yangyang Li, Shengfan Zhou, 2019. *Modeling Rock Fracture Propagation and Water Inrush Mechanisms in Underground Coal Mine*, Geofluids, Article ID 1796965 ,15 p., DOI 10.1155/2019/1796965

16. Tagil'tsev S.N., Kibanova T.N., 2017. Gidrogeomekhanicheskie struktury rastyazheniya i szhatiya v pole sovremennykh tektonicheskikh napryazhenii [Hydrogeomechanical structures of tension and compression in the field of current tectonic stresses]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal, № 7, P. 63 – 69. DOI 10.21440/0536-1028-2017-7-63-69.

17. Shevchenko M.D., 2021. *Opredelenie zakonornostei raspolozheniya tektonicheskikh narushenii dlya prognoza pronitsaemosti massiva gornykh porod [Determining the regularities of the location of tectonic disturbances for predicting the permeability of a rock massif]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten', № 5 – 2, P. 174 – 180 DOI 10.25018/0236_1493_2021_52_0_174. – EDN GQNKJN.*

18. Tagil'tsev S.N., Cherednichenko A.V., Mel'nik V.V., 2020. Kompleksirovanie metodov gidrogeomekhaniki, elektrorazvedki i biolokatsii dlya vybora mest zalozheniya gidrogeologicheskikh skvazhin [Complexing of methods of hydrogeomechanics, electrical prospecting and biolocation for the location choose of hydrogeological wells]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten', № 3 – 1, P. 224 – 234. DOI 10.25018/0236-1493-2020-31-0-224-234.

19. Gorbunova L.M., Zakharov V.P., Muzylev V.S., Onin N.M., 1982. Geofizicheskie metody poiskov i razvedki [Geophysical methods of prospecting and exploration]. Pod red. V.P. Zakharova. Leningrad: Nedra, 304 p.

20. Glikman A.G. Fizika i praktika spektral'noi seismorazvedki [Physics and practice of spectral seismic exploration]. NTF "Geofizprognoz" URL: <http://newgeophys.spb.ru/ru/book/>. (data obrashcheniya 10.08.2022)