

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАСПОЛОЖЕНИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ ДЛЯ ПРОГНОЗА ПРОНИЦАЕМОСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

М. Д. Шевченко

Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук,
Екатеринбург, Россия

Аннотация: Рассмотрен пример определения пространственной ориентации тектонических разломов в массивах скальных горных пород. Особое значение имеют зоны растяжения, формирующиеся в результате пересечения разнонаправленных разломов и разломов различного кинематического типа. Именно они являются наиболее водоносными и перспективными для сооружения скважинного водозабора. В ходе изучения гидрогеомеханической закономерности формирования фильтрационной структуры массива горных пород был выполнен анализ структурно-геомеханической модели района работ. Взятая модель служит результатом полевых геофизических исследований, проводившихся ранее на участке сотрудниками отдела геомеханики Института горного дела УрО РАН. По результатам исследований построена роза-диаграмма. Диаграмма отражает пространственную ориентировку разломов различного кинематического типа с указанием азимута простираения и направления главного максимального напряжения (ГМН). Представленный метод позволяет обнаружить участки с высоким объемом воды, что дает возможность значительно облегчить обработку месторождений полезных ископаемых, повысить безопасность и значительно минимизировать затраты на осушение месторождения при сооружении скважинного водозабора.

Ключевые слова: тектонические нарушения, гидрогеомеханические исследования, скважина, подземные горные выработки, рудник, главные максимальные напряжения, осушение, разломы, напряженно – деформированное состояние

Благодарность: Работа выполнена в рамках Госзадания № 075–00581–19–00 Тема № 0405–2019–0007.

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

Detection of tectonic fault patterns for rock mass permeability prediction

M. D. Shevchenko

Institute of Mining Ural branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Abstract: This paper presents a case-study of tectonic faulting orientation sensing in strong

rock mass. Of particular importance are tensile zones formed as a result of the intersection of multidirectional faults and faults of different kinematic types. They contain much water and are promising for the construction of borehole water intakes. During the study of hydrogeomechanical laws of the filtration structure formation in rock mass, the structure-and-geomechanics model of the test area was analyzed. The model is the result of field geophysical survey conducted at the site earlier by the Geomechanics Department of the Institute of Mining, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Based on the results of the studies, a rose diagram was constructed. The diagram shows the spatial orientations of different kinematic type faults, with indication of strike azimuth and the maximum principal stress direction.

The presented method allows detection of the areas with high water content, which can greatly facilitate mining performance, improve operating safety and significantly minimize the cost of field dewatering during well water intake construction.

Key words: tectonic faults, hydrogeomechanical studies, well, underground excavations, mine, maximal principal stresses, drainage, faults, stress–strain behavior.

Acknowledgements: The study was implemented under State Contract No. 075-00581-19-00, Topic No. 0405-2019-0007.

For citation: Shevchenko M. D. Detection of tectonic fault patterns for rock mass permeability prediction. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(5–2):174–180. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_174.

Введение

Обеспечение безопасности является главным вопросом при разработке месторождений полезных ископаемых. Гидрогеологические условия района работ напрямую влияют на безопасность ведения горных работ, поэтому очень важно иметь возможность регулирования объемов поступающей воды в горные выработки. Часто с такой проблемой сталкиваются при разработке месторождений, связанных с карбонатным, закарстованным водоносным горизонтом, обладающим высокой водопроницаемостью.

Одним из примеров такого месторождения является рудник, расположенный на Южном Урале [1], находящийся в сложных гидрогеологических условиях. Над рудным телом залегает карбонатный, частично закарстованный водоносный горизонт. На поверхности земли, на участке залегания рудного тела протекает река. Сочетание природных условий заставляет полагать, что при формировании зон обрушения над рудным телом водопритоки в под-

земные горные выработки достигнут очень больших величин. Помимо карстопроявлений, большое гидрогеологическое значение здесь имеют активные тектонические нарушения.

Основная цель исследований заключается в определении пространственных закономерностей в расположении тектонических нарушений.

Дело в том, что под воздействием тектонических напряжений, возникающих в земной коре, образуются разломы. В зависимости от направления движения берегов разломов возникают зоны сжатия и растяжения. С точки зрения формирования водопритоков в горные выработки важное значение имеют именно зоны растяжения. Зоны растяжения формируют в геологической среде участки с пониженной несущей способностью, однако они являются зонами повышенной проницаемости. В практическом значении при разработке месторождений полезных ископаемых наличие проницаемых зон приводит к формированию повышенных водопритоков в горные выработки

[3—5]. Следовательно, очень важно при решении задач защиты рудника от опасных водопритокков учитывать гидрогеомеханические закономерности формирования фильтрационной структуры массива горных пород, вмещающих рудные тела.

Впервые изучать связь между механическими свойствами массива горных пород и содержащимися в нем подземными водами предложил В. А. Мироненко, введя понятие «гидрогеомеханики» [2].

Методика исследований

Для определения пространственной ориентировки тектонических нарушений проведен анализ геологической карты района, структурно-геомеханической модели участка работ (рис. 1) и построена роза-диаграмма пространственной ориентированности тектонических нарушений.

Модель была получена сотрудниками отдела геомеханики ИГД УрО РАН в ходе проведения полевых геофизических исследований. Результаты исследований представлены в работе [1]. Методика построения розы-диаграммы заключается в суммировании относительных длин тектонических разломов в заданном диапазоне азимутов простирания. Группа разломов преобладающей ориентированности выделяются на диаграмме пиками (рис. 2).

Геофизические работы проводились методом спектрального сейсмопрофилирования (ССП) для определения структурно-тектонического строения массива горных пород. Метод основывается на использовании зависимости между спектральным составом колебательного процесса, возникающего при ударном воздействии на обнаженную поверхность горного массива, и структурным строением этого массива. Границы, выявляемые данным

методом, представляют собой поверхности, по которым возможно взаимное проскальзывание соседних сред, т. е. трещины и контакты горных пород. Основными объектами, выявляемыми методом спектрального сейсмопрофилирования, являются как открытые, так и сомкнутые трещины, и их совокупности в виде локальных зон трещиноватости [6—7]. Метод ССП является мобильным, что позволяет его использовать как в подземных, так и в открытых горных выработках.

В результате геофизических исследований было выявлено, что массив горных пород имеет высокую неоднородность. Методом спектрального сейсмопрофилирования были выделены и отмечены красным цветом области, где массив имеет тектонические нарушения (рис. 1).

По результатам полевых геофизических исследований выполнен гидрогеомеханический анализ. Результатом анализа является построенная роза-диаграмма пространственной ориентировки тектонических нарушений, изображенная на рис. 2.

Результаты исследований

Роза-диаграмма, построенная по данным значений простирания линейных элементов (рис. 1.), имеет относительно простую структуру и отражает преобладающие ориентировки тектонических нарушений рассматриваемого участка. Следует полагать, что в районе месторождения структуры сформировались и активизируются в настоящее время под воздействием широтного вектора горизонтальные тектонические напряжения. Преобладание главного максимального напряжения (ГМН), действующего по направлению, близкому к 270° , выражается в наличии разломов, имеющих преобладающую ориентировку в меридиональном направле-

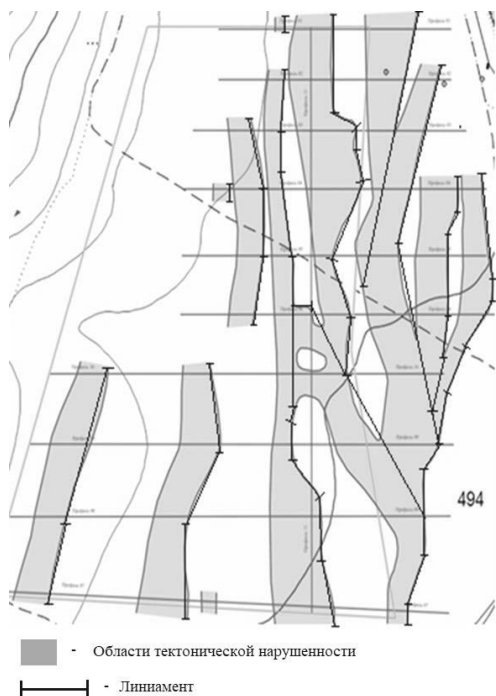


Рис. 1. Структурно-геомеханическая модель участка работ

Fig. 1. Structural and geomechanical model of the work site

нии. Рассматривая кинематический тип этих разломов, следует полагать, что эти разломы представлены в основном взбросами (надвигами). В полном соответствии с теоретическими предположениями, на данной территории хорошо выражены взбросы с азимутами простирания $350 - 10^\circ$. Взбросы и надвиги имеют практически строгую меридиональную ориентировку. Анализ данных сейсмопрофилирования показывает, что взбросы имеют различное падение — на запад и на восток, а также широкий диапазон углов падения.

Относительно широкий диапазон азимутов простирания взбросов, заставляет полагать, что взбросы формируются двумя направлениями ГМН. Предположительно, ориентировка ГМН является типичной для Урала — 265°

и 285° . Следует полагать, что на изучаемом участке основные разломы формируются под воздействием ГМН 285° . Данное предположение основывается на анализе других типов разломов, которые представлены на розе-диаграмме.

Другие типы разломов выражены на диаграмме относительно слабо по сравнению с взбросами. Это вероятно связано с тем, что профили спектрального сейсмопрофилирования имели только широтную ориентировку и выявляли в основном субмеридиональные структуры.

Пик диаграммы, имеющий азимут 285° , отражает наличие сбросов, простирание которых является параллельным ГМН.

Линиаменты, которые в современном поле тектонических напряжений отражают простирание сдвигов, имеют простирание от 320° до 340° («левые» сдвиги). Средний угол скола с ГМН 285° составляет 50° . Это значение характерно для хрупко-пластичных разломов. Для этих разломов также свойственна значительная мощность тектонических нарушений, составляющая в среднем несколько десятков метров. «Правые» сдвиги, которые обычно связаны с ГМН 260° , на диаграмме практически не выражены. Это подтверждает то, что на данном участке преобладает «левое» ГМН 285° .

Таким образом, тектонические нарушения сформировались, и активизируются в настоящее время под воздействием широтного вектора горизонтальных тектонических напряжений. Преобладание главного максимального напряжения, действующего по направлению 285° , выражается в наличии линиаментов, ориентировка которых находится в полном соответствии с теоретическими представлениями и данными по изучению Уральского региона.

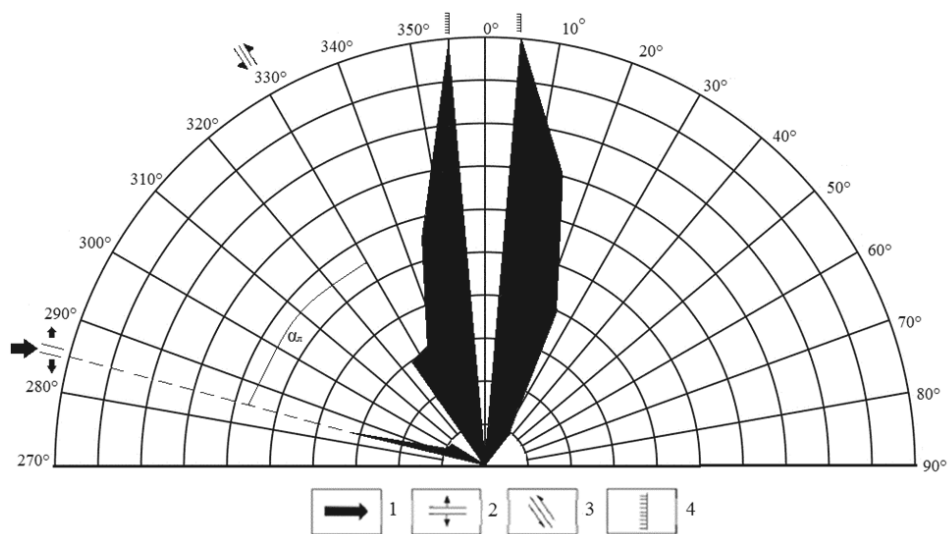


Рис. 2. Роза-диаграмма по участку работ: 1 — действие ГМН; 2 — раздвиги и сбросы; 3 — левые сдвиги; 4 — взбросы; $\alpha_{л}$ — угол склоа левых сдвигов
 Fig. 2. Rose-diagram by work area: 1 — GMN action; 2 — thrusts and faults; 3 — left shear; 4 — surges; $\alpha_{л}$ — angle of slope of left shifts

Кинематический тип разломов следует рассматривать в соответствии с их ориентировкой в современном поле тектонических напряжений как сбросы, взбросы и сдвиги. Эти разломы могут отличаться повышенной подвижностью (современной активностью) и оказывать существенное воздействие на формирование современных гидрогеологических условий.

Заключение

Очень важно при решении задач осушения месторождений твёрдых полезных ископаемых иметь представления о структурно-тектонических особенностях района. Особенно следует уделять внимание зонам пересечения разломов — так называемым «узлам» разломов.


Следует понимать, что при пересечении разломов различного кинема-

тического типа формируются как зоны растяжения — зоны повышенной проницаемости, так и зоны сжатия — зоны низкой проницаемости [8–12], грамотное определение которых позволит решить как вопрос безопасного ведения горных работ, так и вопрос обеспечения водоснабжения жилых и производственных объектов. Поэтому очень важно проводить анализ пространственной ориентации тектонических разломов.

Благодарности

Автор выражает признательность за помощь при проведении аналитических исследований зав. отдела геомеханики ИГД УрО РАН к.т.н. В. В. Мельнику, заведующему кафедрой гидрогеологии и инженерной геологии УГГУ д.т.н., проф. С. Н. Тагильцеву.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельник В. В., Замятин А. Л. Осушение рудных тел в условиях повышенной обводненности и закарстованности налегающей толщи // Проблемы недропользования — 2018. — №1 (16). — С. 105–111. — DOI: 10.25635/2313–1586.2018.01.105.
2. Мироненко В. А. Динамика подземных вод. М.: Изд-во МГГУ, 2001, 519 с.
3. Тагильцев С. Н., Лукьянов А. Е. Геомеханическая роль тектонических разломов и закономерности их пространственного расположения // Геомеханика в горном деле: докл. науч. — техн. конф. 12 — 14 октября 2011г. — Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2012. — С. 26–39.
4. Тагильцев С. Н. «Закономерности пространственного расположения тектонических нарушений в поле современного напряженного состояния земной коры // «Известия вузов. Горный журнал». — 2018. — № 7. — С. 55–60.
5. Тагильцев С. Н. Основы гидрогеомеханического анализа фильтрационной структуры скальных массивов. // Автореф. дисс. докт. техн. наук, Екатеринбург: «Уральская горно-геологическая академия». — 2001. — 41 с.
6. Мельник В. В., Харисов Т. Ф., Замятин А. Л., Харисова О. Д. Оценка эффективности комплекса геофизических методов исследований массива в условиях подземного рудника // «Известия вузов. Горный журнал». — 2020. — № 4. — С. 32 — 39.
7. Мельник В. В., Харисов Т. Ф., Замятин А. Л. Методические основы комплексных геомеханических исследований для выбора оптимальных параметров осушения обводненных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 3–1. — С. 139–149. DOI: 10.25018/0236–1493–2020–31–0-139–149.
8. Тагильцев С. Н., Кибанова Т. Н. «Гидрогеомеханические структуры в поле современных тектонических напряжений». // «Известия вузов. Горный журнал». — 2017. — № 7. — С. 63–69.
9. Zanutta A., Negusini M., Vittuari L., Cianfarra P., Salvini F. et al. Monitoring geodynamic activity in the Victoria Land, East Antarctica: Evidence from GNSS measurements // Journal of Geodynamics. 2017, Vol. 11, pp. 31–42.
10. Gao Y., Guo Z., Yang J., Wang J., Wang Y. Steady analysis of gob-side entry retaining formed by roof fracturing and control techniques by optimizing mine pressure // Journal of China Coal Society, 2017, Vol. 42, pp. 1672–1681.
11. Sepehri M., Apel D., Liu W. Slope stability assessment and effect of horizontal to vertical stress ratio on the yielding and relaxation zones around underground open slopes using empirical and finite element methods // Archives of Mining Science, 2017, Vol. 62, No 3, pp. 653–669.
12. Tataurova A. A., Stefanov Y P., Bakeev R. A. Influence of gravity on deformation of blocks in Earths crust // AIP Conference Proceedings. Proceedings of the International Conference on Advanced Materials with Hierarchical Structure for New Technologies and Reliable Structures 2017 (AMHS'17) (Tomsk, Russia, 9–13 October 2017). 2017. Vol. 1909. No. 1. P. 020217–1-020217–4. 

REFERENCES

1. Mel'nik V. V., Zamjatin A. L. Osushenie rudnyh tel v usloviyah povyshennoj obvodnennosti i zakarstovannosti nalegajushhej tolshhi. *Problemy nedropol'zovaniya* 2018. no.1 (16). pp. 105–111. DOI: 10.25635/2313–1586.2018.01.105. [In Russ]
2. Mironenko V. A. *Dinamika podzemnyh vod* [Groundwater dynamics]. Moscow: Izd-vo MGGU, 2001, 519 p. [In Russ]
3. Tagil'cev S. N., Luk'janov A. E. *Geomehanicheskaja rol' tektonicheskikh razlomov i zakonmernosti ih prostranstvennogo raspolozhenija* [Geomechanical role of tectonic faults and patterns of their spatial location]. *Geomehanika v gornom dele: dokl. nauch.- tehn. konf. 12 14 oktjabrja 2011g.* Ekaterinburg: IGD UrO RAN, 2012. pp. 26–39. [In Russ]

4. Tagil'cev S. N. Regularities of the spatial arrangement of tectonic disturbances in the field of the modern stress state of the Earth's crust. *Izvestija vuzov. Gornyj zhurnal*. 2018. no. 7. pp. 55–60. [In Russ]
5. Tagil'cev S. N. *Osnovy gidrogeomechanicheskogo analiza fil'tracionnoj struktury skal'nyh massivov* [Fundamentals of hydrogeomechanical analysis of the filtration structure of rock massifs]. Avtoref. diss. dokt. tehn. nauk, Ekaterinburg: «Ural'skaja gorno geologicheskaja akademija». 2001. 41 p. [In Russ]
6. Mel'nik V. V., Harisov T. F., Zamjatin A. L., Harisova O. D. Evaluation of the effectiveness of the complex of geophysical methods for studying the massif in the conditions of an underground mine. *Izvestija vuzov. Gornyj zhurnal*. 2020. no. 4. pp. 32–39. [In Russ]
7. Mel'nik V. V., Harisov T. F., Zamjatin A. L. Methodological bases of complex geomechanical studies for selecting optimal parameters of drainage of watered deposits. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020. no. 3–1. pp. 139–149. DOI: 10.25018/0236–1493–2020–31–0-139–149. [In Russ]
8. Tagil'cev S. N., Kibanova T. N. Hydrogeomechanical structures in the field of modern tectonic stresses. *Izvestija vuzov. Gornyj zhurnal*. 2017. no. 7. pp. 63–69. [In Russ]
9. Zanutta A., Negusini M., Vittuari L., Cianfarra P., Salvini F. et al. Monitoring geodynamic activity in the Victoria Land, East Antarctica: Evidence from GNSS measurements. *Journal of Geodynamics*. 2017, Vol. 11, pp. 31–42.
10. Gao Y., Guo Z., Yang J., Wang J., Wang Y. Steady analysis of gob-side entry retaining formed by roof fracturing and control techniques by optimizing mine pressure. *Journal of China Coal Society*, 2017, Vol. 42, pp. 1672–1681.
11. Sepehri M., Apel D., Liu W. Slope stability assessment and effect of horizontal to vertical stress ratio on the yielding and relaxation zones around underground open slopes using empirical and finite element methods. *Archives of Mining Science*, 2017, Vol. 62, no. 3, pp. 653–669.
12. Tataurova A. A., Stefanov Y P., Bakeev R. A. Influence of gravity on deformation of blocks in Earthes crust. AIP Conference Proceedings. Proceedings of the International Conference on Advanced Materials with Hierarchical Structure for New Technologies and Reliable Structures 2017 (AMHS'17) (Tomsk, Russia, 9–13 October 2017). 2017. Vol. 1909. no. 1. P. 020217–1-020217–4.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шевченко Максим Дмитриевич – младший научный сотрудник, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ИГД УрО РАН), Екатеринбург, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Shevchenko M. D., Junior Researcher, Institute of Mining Institute, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia.

Получена редакцией 27.01.2021; получена после рецензии 29.03.2021; принята к печати 10.04.2021.

Received by the editors 27.01.2021; received after the review 29.03.2021; accepted for printing 10.04.2021.

