

ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ КАК ИНСТРУМЕНТ ПРОГНОЗА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА

Ю. А. Малинин ^{1*}, Н.Н. Гриб ^{1,2}

¹Технический институт (ф) СВФУ им. М.К. Аммосова, г. Нерюнгри, Россия

²Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Россия

* *alkor.05@mail.ru*

Аннотация

Цель работы – построение цифровой модели изменчивости физико-механических свойств Эльгинского месторождения. В качестве исходных данных была использована информация из электронных баз данных, созданных по материалам геологических отчетов, отчетов эксплуатационной разведки. Для создания геологической модели углепородного массива Эльгинского месторождения, был использован отечественный программный комплекс «Orange». На основе баз данных и используя программный комплекс «Orange», построены блочные 3D модели изменчивости физико-механических свойств: предела прочности при сжатии, предела прочности при растяжении и плотности углевмещающих пород в стратиграфических интервалах глубин У6- У5, У5-У4, У4-Н16, Н16-Н15. Современные компьютерные технологии позволяют визуализировать значения физико-механических свойств, соответствующие каждой точке двумерного сечения геологического тела. Для оценки строения и состояния массива горных пород возможно построение не полной трехмерной цифровой модели, а её аппроксимации двумерными сечениями, которые наглядно и информативно показывают пространственную изменчивость одного из физико-механических свойств. Приведен пример гипсометрических планов распределения предела прочности пород при растяжении, сжатии и объемной плотности по глубине залегания вмещающих пород, в междупластиях У₆- У₅. Исследования, по мощности междупластия, проводились с дискретизацией от 0.4 м. до 1 м., по глубине, что дало возможность проследить изменение физико-механических свойств пород как с глубиной, так и по латерали. Как видно из представленных планов, изменчивость прочностных и плотностных свойств пород достаточно велика. Предел прочности пород при одноосном сжатии, в пределах изучаемых интервалов, изменяется от 20,5 МПа до 129,9 МПа, предел прочности при одноосном растяжении, от 2,64 МПа до 11,3 МПа, объемная плотность, от 2,45 г/см³ до 2,81 г/см³. Результаты исследований позволяют проектировать и планировать разработку месторождения, а также составлять паспорта на буровзрывные работы с учетом изменчивости свойств углевмещающих пород.

Ключевые слова: Эльгинское месторождение, углепородный массив, цифровая модель, пространственная изменчивость, физико-механические свойства, горная порода, гипсометрический план, геологическая модель, предел прочности, буровзрывные работы

Для цитирования: Малинин Ю.А., Гриб Н.Н. Цифровая модель как инструмент прогноза пространственной изменчивости физико-механических свойств углепородного массива. *Вестник СВФУ*. 2025;(3): 33-43. DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-33-43

DIGITAL MODEL FOR PREDICTING SPATIAL VARIABILITY OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF COAL MASSIVE

Yuri A. Malinin^{1*}, Nikolay N. Grib^{1,2}

¹Neryungri Technical Institute (branch) of North-Eastern Federal University, Neryungri, Russian Federation

²Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation

*alkor.05@mail.ru

Abstract

This paper focuses on building a digital model that reflects the variability of the physical and mechanical properties of the Elginskoye deposit. The initial data came from electronic databases compiled from geological and operational exploration reports. The Orange software package was used to create a geological model of the coal-bearing rock mass of the Elginskoye deposit. Block 3D models of the variability of physical and mechanical properties such as compressive strength, tensile strength, and density of carbon-bearing rocks in stratigraphic intervals at depths U6–U5, U5–U4, U4–H16, and H16–H15 were constructed. Modern computer technologies are able to visualize the values of physical and mechanical properties corresponding to each point of a two-dimensional cross-section of a geological body. Rather than constructing a complete three-dimensional digital model to assess the structure and condition of the rock mass, an approximation can be constructed using two-dimensional cross-sections, which clearly and informatively display the spatial variability of one of the physical and mechanical properties. An example is given of hypsometric plans for the distribution of rock strength under tension, compression, and bulk density at the depth of the surrounding rocks, in the interlayers U6–U5. Interlayer strength was measured at intervals ranging from 0.4 m to 1 m in depth, thereby identifying changes in the physical and mechanical properties of the rock both with depth and laterally. The presented plans demonstrate a significant variability in the strength and density properties of the rock. The strength limit of rocks under uniaxial compression, within the studied intervals, varies from 20.5 MPa to 129.9 MPa, the strength limit under uniaxial tension, from 2.64 MPa to 11.3 MPa, and the bulk density varies from 2.45 g/cm³ to 2.81 g/cm³. The results of the research can be used to design and plan the development of the deposit, as well as to draw up specifications for drilling and blasting operations, taking into account the variability of the properties of carbon-bearing rocks.

Keywords: Elginskoye deposit, coal-bearing rock mass, digital model, spatial variability, physical and mechanical properties, rock, hypsometric plan, geological model, strength limit, drilling and blasting operations

For citation: Malinin Yu. A., Grib N. N. Digital model for predicting spatial variability of physical and mechanical properties of coal massive. *Vestnik of North-Eastern Federal University. "Earth Sciences"*. 2025;(3):33-43 (in Russian) DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-33-43

Введение

Математическая модель в геологии есть концентрированное выражение геологических знаний на языке математики. Модель – это определенная концепция. В модели мы видим лишь конечный результат наложенных друг на друга, сложным образом переплетенных геологических процессов. На сегодняшний день в мировой практике для создания геологических моделей применяют такие программные комплексы как: Micromine, Geomodeler, Petrel, РН-ГЕОСИМ, Orange, DV-Geo, ГГИС “Майнфрейм” и другие.

В текущих реалиях, основной тенденцией развития горнодобывающей отрасли России является цифровизация управления горными предприятиями на основе внедрения отечественного программного обеспечения, обеспечивающего технологический суверенитет страны. [1] Поэтому такие программные комплексы как «Майнфрейм», РН-ГЕОСИМ, «Orange» и др., активно внедряют на горно-геологических предприятия России и страны ближнего зарубежья.

Объединение различных источников информации о недрах является неотъемлемой частью в процессе создания реалистичных геологических моделей. Часто имеющиеся геологические

данные из скважин и обнажений не равномерно распределены по площади, и база данных для моделирования дополняется геофизическими данными для лучшего понимания трехмерных литологических, структурных и гидрологических особенностей в исследуемой области. [2]

Одним из ключевых аспектов создания эффективной цифровой модели, является выбор подходящих методов математического моделирования. В зависимости от поставленных задач и доступных данных, могут применяться различные подходы, такие как геостатистические методы (кригинг, симуляции), методы конечных элементов, дискретных элементов и другие. Геостатистические методы позволяют интерполировать значения параметров между точками наблюдений, учитывая пространственную корреляцию данных. Методы конечных и дискретных элементов используются для моделирования механического поведения массива под воздействием внешних нагрузок и внутренних напряжений [3-4].

Угленосный массив, представляющий собой сложную геологическую структуру, характеризуется значительной пространственной изменчивостью свойств. Прогнозирование этой изменчивости является критически важной задачей для эффективного планирования и безопасной эксплуатации месторождений полезных ископаемых. Традиционные методы, основанные на дискретных данных бурения и геофизических исследований, зачастую оказываются недостаточными для точной оценки характеристик массива в межскважинном пространстве. В этой связи, разработка и применение цифровых моделей угленосного массива приобретает все большую актуальность.

Материалы и методы

Геологические данные формируют фундаментальную основу для 3D геологического моделирования и играют ключевую роль в создании, уточнении и оценке геологических моделей. Использование данных, характеризующихся различным разрешением, происхождением, слоями и размерами, значительно повышает точность и надежность этих моделей [5]. В последние годы 3D-моделирование стало катализатором прогресса, который недавно стал чрезвычайно важным инструментом, открывающим новые направления изучения месторождений полезных ископаемых [6].

Цифровая модель, в данном контексте, представляет собой комплексное представление геологической среды, основанное на интеграции разнородных данных и математическом моделировании. Она позволяет не только визуализировать структуру массива, но и прогнозировать пространственное распределение ключевых параметров, таких как прочность, плотность, трещиноватость, газонасыщенность и другие. Создание цифровой модели включает в себя этапы сбора и обработки данных, выбора адекватной математической модели, калибровки модели на основе имеющихся данных и верификации полученных результатов.

Создание геологической модели – это итеративный процесс, который требует тесного взаимодействия геолога и пользователя. Геологические знания и опыт необходимы для принятия обоснованных решений на каждом этапе моделирования. Точность и качество исходных данных оказывают существенное влияние на точность и надежность модели. Поэтому уделялось особое внимание сбору, валидации и обработке данных. Выбор параметров моделирования (например: размеры блоков, методы интерполяции, параметры триангуляции) обосновывались в соответствии с геологическими особенностями месторождения и целям моделирования. Тщательная валидация модели на каждом этапе является обязательным условием для обеспечения ее достоверности и пригодности для использования в планировании горных работ.

Объект исследования – Эльгинское каменноугольное месторождение, одно из крупнейших месторождений мира по запасам каменного угля, со сложными горно-геологическими условиями. Разрывные нарушения, которые представлены сбросами, взбросами и пологими надвигами имеют субширотное и субмеридиальное простирание. Геологический разрез Нерюнгриканской свиты на 70% сложен переслаивающимися крупно-, средне- и мелкозернистыми песчаниками.

На юге центральной части района отложения свиты, в ее основании залегает горизонт базальтовых конгломератов. Значительная часть месторождения расположена в зоне распространения многолетнемерзлых пород, что усложняет его отработку [7].

Для создания геологической модели углепородного массива Эльгинского месторождения, был применен отечественный программный комплекс «Orange». В качестве исходных данных были использованы данные «Базы данных» созданных по материалам геологических отчетов, отчетов эксплуатационной разведки [8].

Первым шагом в геологическом моделировании являлось построение концептуальной модели. Концептуальная модель формирует основу для выбора типа модели и выбора подходов к моделированию в цифровом 3D геологическом моделировании. Во время детерминированного геологического моделирования любые геологические интерпретации основывались на геологическом понимании из концептуальной модели и поэтому имеют важное значение, особенно в областях с небольшим количеством данных [9].

В процессе исследования создана цифровая модель поверхности площади Эльгинского месторождения. Эта модель служит основой для дальнейших исследований (рис. 1).

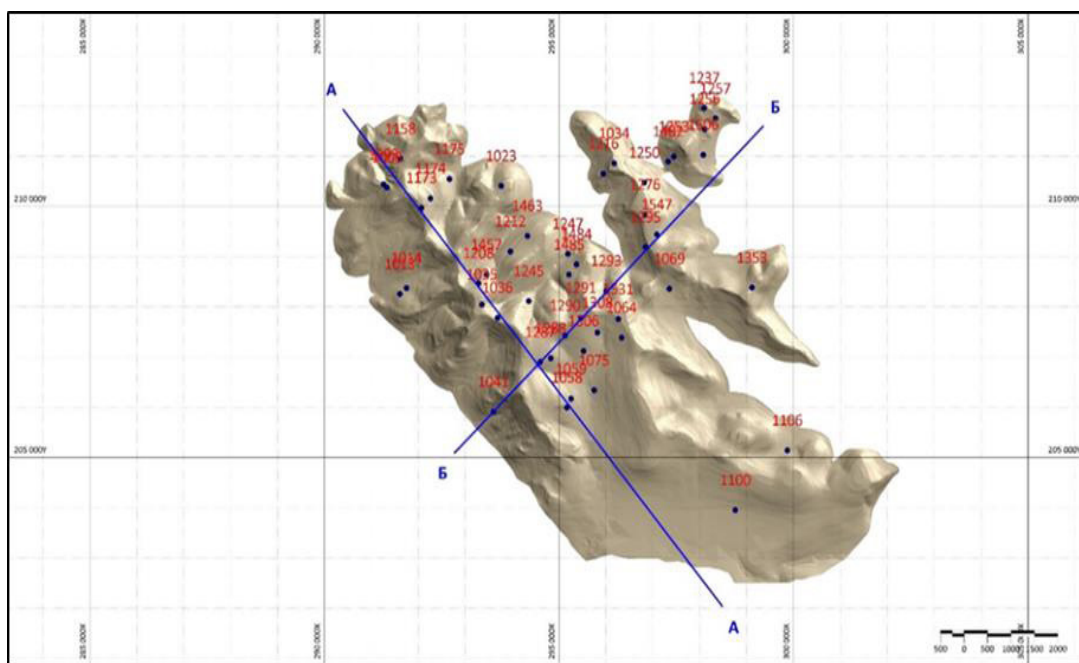


Рис. 1. 3D модель поверхности Эльгинского месторождения

Fig. 1. 3D model of the surface of the Elginskoye field

Результаты

Первым этапом геологического моделирования является сбор и анализ имеющейся геологической информации. Сюда входят данные бурения, геофизических исследований, результаты лабораторных исследований геологических проб, геологические карты и другие геологические материалы по месторождению. Важным аспектом является верификация и корректировка данных, выявление возможных ошибок и противоречий.

На основе собранных данных создавалась структурная модель месторождения. Она отображает пространственное расположение геологических слоев, разломов, складок и другой геологической информации.

Ниже приведены блочные 3D модели изменчивости физико-механических свойств: предела прочности при сжатии ($s_{сж}$), предела прочности при растяжении (s_p) и плотности угвещающих пород (γ) (рис. 2-4).

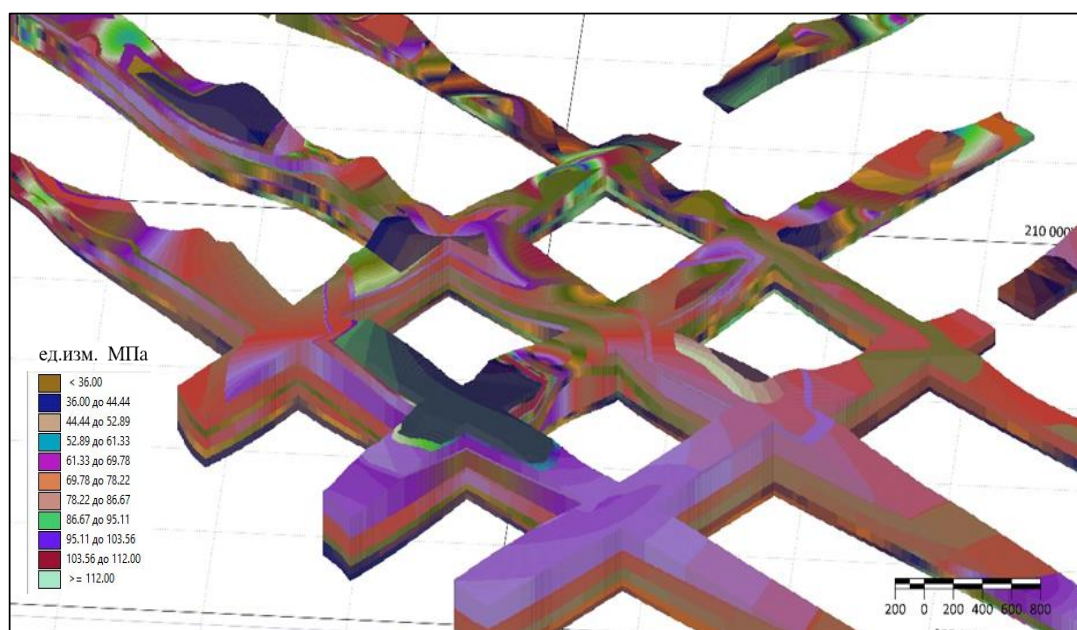


Рис. 2. Блочная 3D модель изменчивости предел прочности на одноосное сжатие МПа, г/см³

Fig. 2. Block 3D model of variability of uniaxial compressive strength

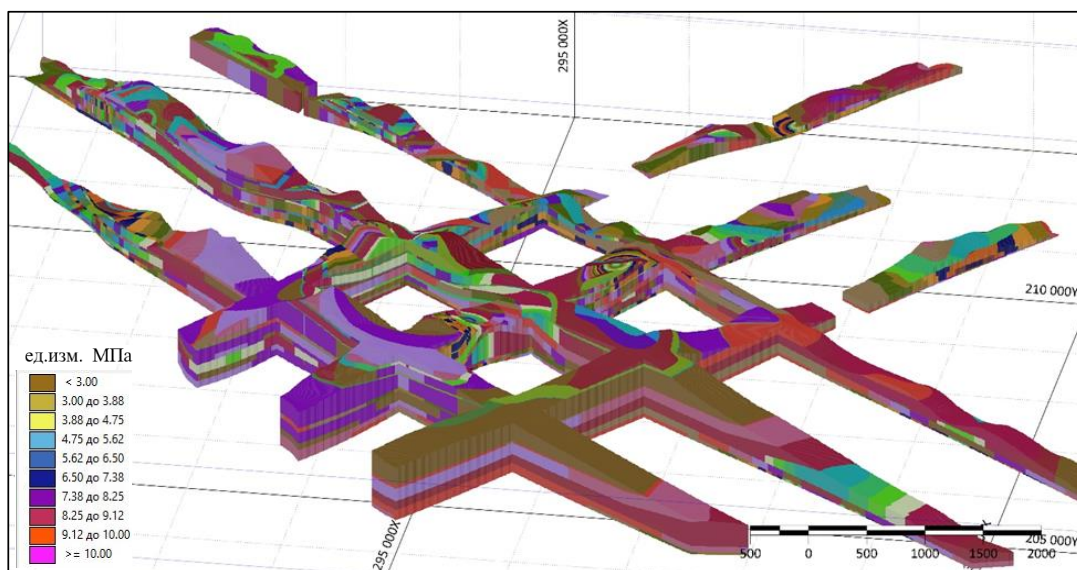


Рис. 3. Блочная 3D модель изменчивости предел прочности на одноосное растяжение

Fig. 3. Block 3D model of variability of uniaxial tensile strength

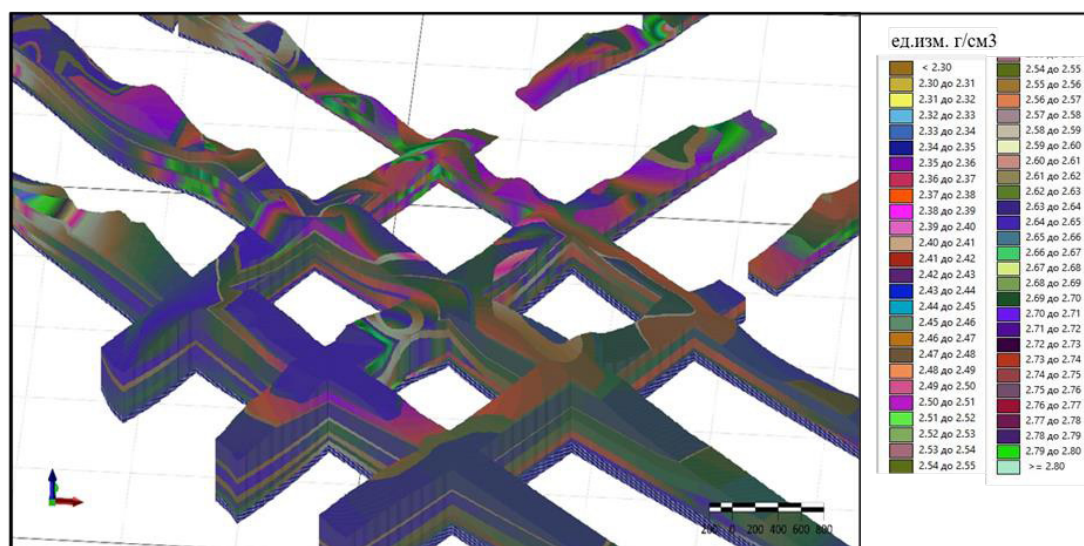


Рис. 4. Блочная 3D модель изменчивости плотности углевмещающих пород

Fig. 4. Block 3D model of density variability of coal-bearing rocks

Современные компьютерные технологии позволяют визуализировать значения физико-механических свойств, соответствующие каждой точке двумерного сечения (вертикального разреза) геологического тела. Для оценки строения и состояния массива горных пород возможно построение не полной трехмерной цифровой модели, а её аппроксимации двумерными сечениями, которые наглядно и информативно показывают пространственную изменчивость одного из физико-механических свойств по выбору ($s_{сж}$, s_p , ρ) [10].

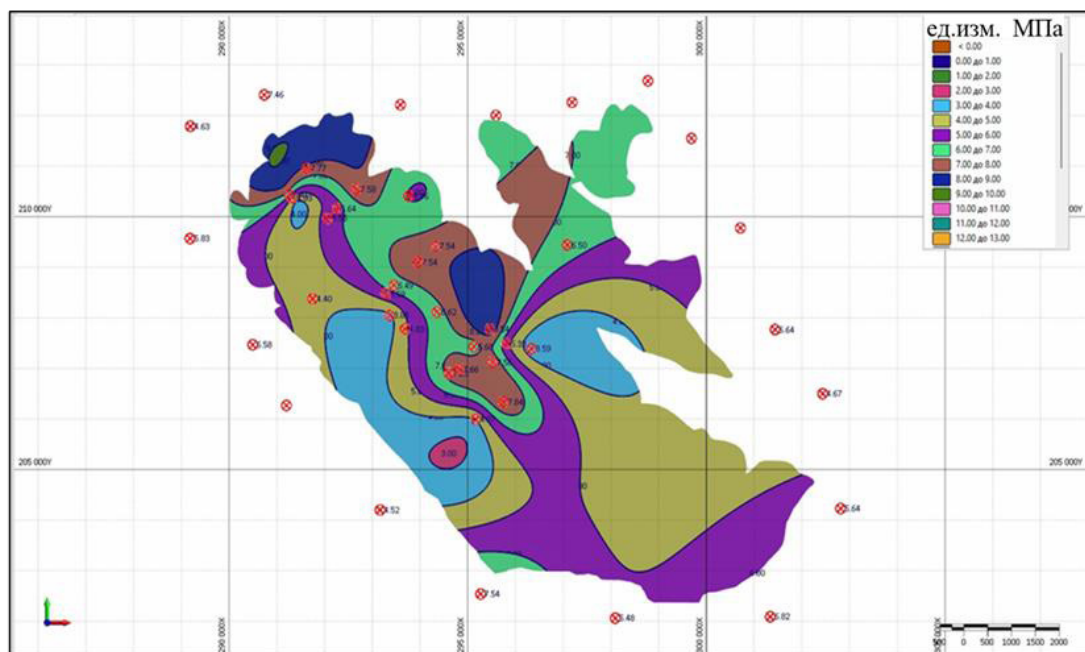
Эльгинское каменноугольное месторождение обладает литологическим разнообразием, представленным чередованием песчаников, алевролитов и аргиллитов, наличие горизонтов туфопесчаников и конгломератов которые вносят существенный вклад в вариативность прочностных и плотностных свойств. Песчаники, как правило, обладают более высокими показателями прочности на сжатие и растяжение по сравнению с алевролитами, аргиллитами, туфопесчаниками [11]. Наличие разломов, водоносных горизонтов и вечной мерзлоты оказывает существенное влияние на прочность и устойчивость массива горных пород. Также важно учитывать анизотропию свойств, обусловленную слоистостью и трещиноватостью пород.

Углевмещающие породы характеризуются в основном средней прочностью, оцениваемой по усредненным значениям, сопротивлением сжатию 42-78 МПа и сопротивлением растяжению 5,3-9,1 МПа. Преобладающие значения величины сцепления пород составляют 13-22 МПа, угол внутреннего трения колеблется в пределах 32-36°, и лишь конгломераты отличаются более низким углом внутреннего трения, составляющим в среднем 28° [12].

По результатам созданных баз данных [8] и используя программный комплекс «Orange», было выполнено районирование углевмещающих пород по пределу прочности при сжатии ($s_{сж}$), при растяжении (s_p), плотности (ρ), в стратиграфических интервалах $Y_6 - Y_5$, $Y_5 - Y_4$, $Y_4 - H_{16}$, $H_{16} - H_{15}$.

На рис. 5-7 приведены примеры гипсометрических планов распределения предела прочности пород при растяжении (s_p) и сжатии ($s_{сж}$), и объемной плотности по глубине залегания вмещающих пород, в междупластиях $Y_6 - Y_5$. Все исследования проводились с интервалом дискретизации от 0.4 м. до 1 м., по глубине, что дало возможность проследить изменение физико-механических свойств пород как с глубиной, так и по латерали. Как видно из представ-

ленных планов, изменчивость прочностных и плотностных свойств пород достаточно велика. Предел прочности пород на сжатие, в пределах изучаемых интервалов, изменяется от 20,5 МПа до 129,9 МПа.



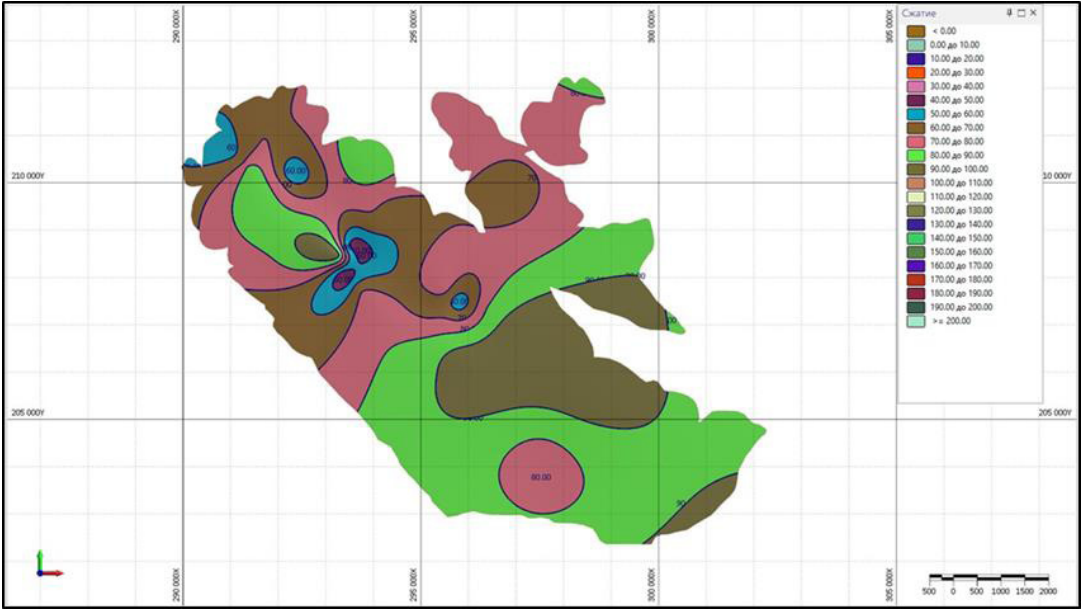


Рис. 6. Гипсометрический план изменчивости показателей предела прочности пород при сжатии (стратиграфический интервал U_6-U_5)

Fig. 6. Hypsometric plan of variability of the indicators of the ultimate strength of rocks under compression (stratigraphic interval U_6-U_5)

На рис. 7 представлен гипсометрический план изменения объемной плотности по площади месторождения, в стратиграфическом интервале U_6-U_5 , для Эльгинского каменноугольного месторождения. Как видно из представленного плана, значения плотностных свойств пород в

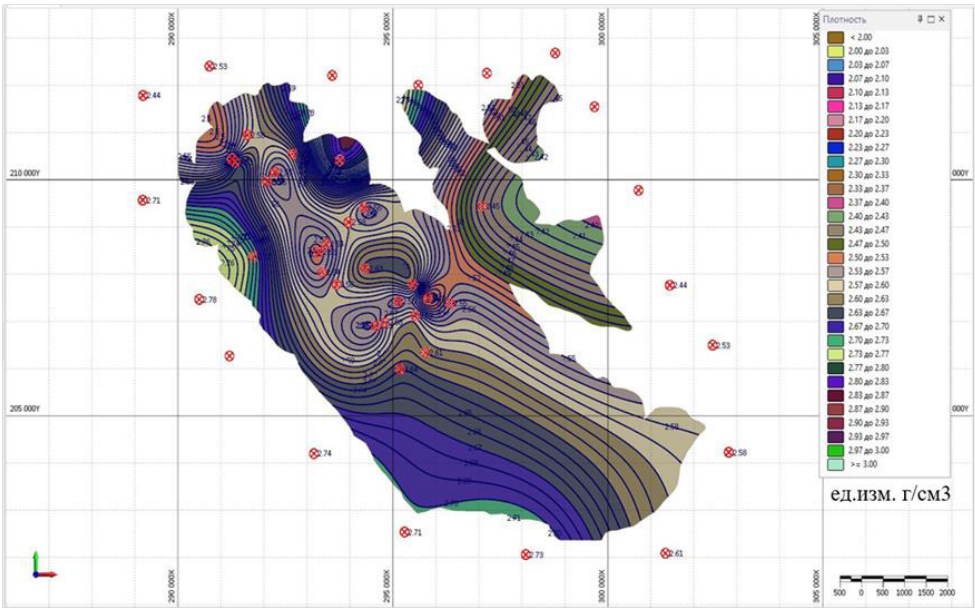


Рис. 7. Гипсометрический план изменчивости плотностных свойств пород (стратиграфический интервал U_6-U_5)

Fig. 7. Hypsometric plan of variability of density properties of rocks (stratigraphic interval U_6-U_5)

горизонтальном направлении колеблются в довольно широких пределах. Средний показатель имеет вытянутое распространение с северо-запада на юго-восток. Участки с понижением показателя наблюдаются локально, на западном и северо-восточном крыле. Увеличение показателя прослеживается на юге, юго-востоке и локально на северо-западе. Естественная плотность пород изменяется от 2,45 г/см³ до 2,81 г/см³, при среднем значении 2,60 г/см³.

Заключение

Результаты работы, представленные в данном исследовании, показали сложную структуру распределения физико-механических свойств пород по площади месторождения, но в тоже время это позволило нам детализировать и выделить локальные места участков пород с завышенными или заниженными показателями. Из анализа гипсометрических планов следует, что значения физико-механических свойств пород, как по простиранию, так и в крест простирания, имеют как локальную, так и закономерную изменчивость. Предел прочности пород при одноосном сжатии, в пределах изучаемых интервалов, изменяется от 20,5 МПа до 129,9 МПа, предел прочности при одноосном растяжении, от 2,64 МПа до 11,3 МПа, объемная плотность, от 2,45 г/см³ до 2,81 г/см³.

Цифровая модель изменчивости физико-механических свойств позволяет повысить эффективность планирования и безопасность эксплуатации месторождений полезных ископаемых, а также снизить риски возникновения аварийных ситуаций.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда, проект № 24-17-20031

This work was supported by a grant from the Russian Science Foundation, project No. 24-17-20031.

Литература

1. Лукичев С.В. Развитие отечественного программного обеспечения – это не только решение задачи импортозамещения, но и обеспечения технологической независимости страны. *Горная промышленность*. 2022;(2):12–14. EDN MOBTNH.
2. Madsen R.B., Nøyer A.-S., Andersen L.T., Møller I., Hansen T.M. Geology-driven modeling: A new probabilistic approach for incorporating uncertain geological interpretations in 3D geological modeling. *Engineering Geology*. 2022; 309:106833. DOI: 10.1016/j.enggeo.2022.106833.
3. Анистратов К.Ю., Наговицын О.В., Наговицын Г.О., Васильева М.О. Формирование цифровой модели угольного месторождения в горно-геологической информационной системе МАЙНФРЭЙМ. *Горная промышленность*. 2024;(3):64–69. DOI 10.30686/1609-9192-2024-3-64-69. EDN HAVWGI.
4. Кноринг Л.Д., Деч В.Н. *Геологу о математике. Советы по практическому применению*. – Л.: Недра, Ленинград, 1989 г., 208 стр., УДК: 550:51, ISBN: 5-247-00537-6.
5. Cao X., Liu Z., Hu C., Song X., Quaye, J.A., Lu N. Three-dimensional geological modelling in earth science research: An in-depth review and perspective analysis. *Minerals*. 2024;14(7):686. DOI: 10.3390/min14070686.
6. Dyczko A. The geological modelling of deposits, production designing and scheduling in the JSW SA Mining Group. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management*. 2023;39(1):35–62. DOI: 10.24425/gsm.2023.144628.
7. Угольная база России. Т.В. Кн.2. Угольные бассейны и месторождения Дальнего Востока России (Республика Саха, Северо-Восток, о. Сахалин, п-ов Камчатка) / В. И. Подолян, Т. Н. Елисафенко, Ю. П. Пензин [и др.] ; под редакцией В. Ф. Череповского. – 2-е изд. – Москва: Геоинформмарк, 2024. – 640 с. – ISBN 5-900357-32-5 (т. V), 5-900357-15-5.
8. Малинин Ю.А., Гриб Н.Н. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2018621148 Российская Федерация. Данные по физико-механическим свойствам и литологическим разностям вскрышных пород Эльгинского месторождения: № 2018620812: заявл. 18.06.2018: опубл. 25.07.2018 / Ю. А. Малинин, Н. Н. Гриб; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова». – EDN GSZDBO.

9. Høyer A.S., Sandersen P.B.E., Andersen L.T., Madsen R.B., Mortensen M.H., Møller I. Evaluating the chain of uncertainties in the 3D geological modelling workflow. *Engineering Geology*. 2024; 343:107792. DOI: 10.1016/j.enggeo.2024.107792.

10. Гриб Н.Н., Кузнецов П.Ю., Терещенко М.В., Редлих Э.Ф. Моделирование пространственной изменчивости физико-механических свойств массива горных пород. Тенденции развития науки и образования. 2018;(44–5):90–96. DOI 10.18411/lj-11-2018-139. EDN EOFSAW.

11. Скоморошко Ю.Н., Гриб Н.Н., Кузнецов П.Ю. Типизация углевмещающих пород Эльгинского месторождения по комплексному параметру устойчивости. *Успехи современного естествознания*. 2017;(6):90–95. EDN ZBNCKX.

12. Гриб Н.Н., Самохин А.В. *Физико-механические свойства углевмещающих пород Южно-Якутского бассейна*. Новосибирск: Наука; 1999.

References

1. Lukichev SV. The development of domestically produced software is not only about import substitution, but also securing the country's technological independence. *Russian Mining Industry*. 2022;(2):12–14 (in Russian).

2. Madsen RB, Høyer A-S, Andersen LT, et al. Geology-driven modeling: A new probabilistic approach for incorporating uncertain geological interpretations in 3D geological modeling. *Engineering Geology*. 2022; 309:106833. DOI: 10.1016/j.enggeo.2022.106833.

3. Anistratov KY, Nagovitsyn OV, Nagovitsyn GO, et al. Designing a digital model of a coal deposit in the MINEFRAME mining and geological information system. *Russian Mining Industry*. 2024;(3):64–69 (in Russian). DOI: 10.30686/1609-9192-2024-3-64-69.

4. Knoring LD, Dech VN. *Mathematics for geologists: Practical application tips*. Leningrad: Nedra; 1989.

5. Cao X, Liu Z, Hu C, Song X, et al. *Three-dimensional geological modelling in earth science research: An in-depth review and perspective analysis*. *Minerals*. 2024;14(7):686. DOI: 10.3390/min14070686.

6. Dyczko A. The geological modelling of deposits, production designing and scheduling in the JSW SA Mining Group. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management*. 2023;39(1):35–62. DOI: 10.24425/gsm.2023.144628.

7. *Coal resources of Russia. Vol. 5, Book 2: Coal basins and deposits of the Russian Far East (Republic of Sakha, Northeast, Sakhalin Island, Kamchatka Peninsula)*. Moscow: Geoinform-Mark; 2024:640.

8. Malinin YuA, Grib NN. *Data on the physical and mechanical properties and lithological differences of overburden rocks at the Elginskoye deposit* [Database]. Certificate of state registration of the database No. 2018621148 Russian Federation. Published on 25 July 2018. Bulletin No. 8.

9. Høyer AS, Sandersen PBE, Andersen LT, et al. Evaluating the chain of uncertainties in the 3D geological modelling workflow. *Engineering Geology*. 2024;343:107792. DOI: 10.1016/j.enggeo.2024.107792.

10. Grib NN, Kuznetsov PYu, Tereshchenko MV, et al. Modeling spatial variability of physical and mechanical properties of rock mass. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2018;(44–5):90–96 (in Russian). DOI: 10.18411/lj-11-2018-139.

11. Skomoroshko YuN, Grib NN, Kuznetsov PYu. Classification of coal-bearing rocks at the Elginskoye deposit according to a comprehensive stability parameter. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2017;(6):90–95. (in Russian).

12. Grib NN, Samokhin AV. *Physical and Mechanical Properties of Carbon-Bearing Rocks in the South Yakutsk Basin*. Novosibirsk: Nauka; 1999 (in Russian).

Сведения об авторах

МАЛИНИН Юрий Анатольевич – ст. преп. каф. «Горное дело Технического института (ф) СВФУ в г. Нерюнгри, ORCID: 0000-0002-7473-2808, Scopus Author ID: 57216346906, SPIN-код: 6282-6715
E-mail: alkor.05@mail.ru

ГРИБ Николай Николаевич – д.т.н., проф. каф. «Горное дело» Технического института (ф) СВФУ в г. Нерюнгри, вед. науч. сотрудник, Тихоокеанского государственного университета, ORCID: 0000-0002-3818-9473, SPIN-код: 6449-8738, AuthorID: 303099, ResearcherID: S-7236-2016, Scopus Author ID: 58929566100, ORCID: 0000-0002-3818-9473
E-mail.ru: grib-n-n@yandex.ru

About the authors

Yuri A. MALININ – Senior Lecturer, Mining Engineering Department, Neryungri Technical Institute (branch) of North-Eastern Federal University, ORCID: 0000-0002-7473-2808, Scopus Author ID: 57216346906, SPIN-код: 6282-6715

e-mail: alkor.05@mail.ru

Nikolay N. GRIB – Dr. Sci. (Engineering), Professor, Mining Engineering Department, Neryungri Technical Institute (branch) of North-Eastern Federal University, Leading Researcher, Pacific National University, ORCID: 0000-0002-3818-9473, SPIN-код: 6449-8738, AuthorID: 303099, ResearcherID: S-7236-2016, Scopus Author ID: 58929566100, ORCID: 0000-0002-3818-9473

E-mail: grib-n-n@yandex.ru

Вклад авторов

Гриб Н.Н. – разработка концепции, методология, проведение статистического анализа, администрирование данных

Малинин Ю.А. – программное обеспечение, верификация данных, проведение исследования, ресурсное обеспечение исследования

Authors' contribution

Grib N.N. – conceptualization, methodology, formal analysis, data curation

Malinin Y.A. – software, validation, investigation, resources

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Корреспондент автор имеет право и полномочия выступать от имени всех авторов по этому исследованию

Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interest. Corresponding author has the right and authority to speak on behalf of all authors on this study

Поступила в редакцию / Submitted 10.07.2025

Принята к публикации / Accepted 04.08.25