

**ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ /  
GEOLOGY, PROSPECTING AND EXPLORATION OF SOLID MINERALS, MINERALOGY**

DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2024.1.1>

**ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НА  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕЛА**

Научная статья

**Хворостянова В.И.<sup>1</sup>, Чуева Е.А.<sup>2</sup>, Терехин Е.П.<sup>3,\*</sup>**

<sup>3</sup> ORCID : 0000-0003-3955-947X;

<sup>1,2,3</sup> Губкинский филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСИС», Губкин,  
Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (teryekhin50[at]mail.ru)

**Аннотация**

В статье рассматривается влияние физико-механических характеристик и химического состава природного мела железорудного бассейна КМА на технологические свойства его добычи и переработки. Карьерная разработка месторождений природного мела ведется в местах выхода его на поверхность либо селективно при добыче железистых кварцитов. В работе исследуется фактор адгезии мела в зависимости от его влажности и фракционного состава с целью определения эффективности экскавации, транспортирования и первичной переработки мелового камня. Процессы налипания и тиксотропности мела начинают активно проявляться при влажности мела выше критической – 25%. На всех месторождениях выявлена общая тенденция увеличения влажности мела с глубиной и снижения временного сопротивления одноосному сжатию образцов мела от его влажности. Прочность мела из карьера Лебединского ГОКа по этому показателю колеблется в широких пределах 0,2-3,2 МПа от состояния частично водонасыщенного до воздушно-сухого и 0,4-1,2 МПа для мела естественной влажности. Увеличение содержания карбоната кальция по глубине залегания объясняется повышением его плотности и однородности, снижением трещиноватости и отсутствием посторонних примесей.

**Ключевые слова:** мел природный, влажность, прочность, химический состав, технологические свойства.

**INFLUENCE OF PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS AND CHEMICAL COMPOSITION ON  
TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF CHALK**

Research article

**Khvorostyanova V.I.<sup>1</sup>, Chueva E.A.<sup>2</sup>, Teryekhin Y.P.<sup>3,\*</sup>**

<sup>3</sup> ORCID : 0000-0003-3955-947X;

<sup>1,2,3</sup> The Gubkin branch of the National University of Science and Technology "MISIS", Gubkin, Russian Federation

\* Corresponding author (teryekhin50[at]mail.ru)

**Abstract**

The article examines the influence of physical and mechanical characteristics and chemical composition of natural chalk of the KMA iron ore basin on the technological properties of its extraction and processing. Quarrying of natural chalk deposits is carried out in places where it comes to the surface, or selectively in the mining of ferruginous quartzite. In this work, the adhesion factor of chalk is studied depending on its moisture content and fractional composition in order to determine the efficiency of excavation, transport and primary processing of chalk stone. The processes of sticking and thixotropy of chalk begin to appear actively at chalk humidity higher than critical – 25%. At all deposits the general tendency of chalk moisture increase with depth and decrease of uniaxial compression strength of chalk samples from its moisture was found out. The strength of chalk from Lebedinsky MPP quarry according to this indicator varies in wide ranges 0.2-3.2 MPa from partially water-saturated to air-dry condition and 0.4-1.2 MPA for chalk of natural moisture. Increase of calcium carbonate content with depth of occurrence is explained by increase of its density and homogeneity, decrease of fracturing and absence of extraneous impurities.

**Keywords:** natural chalk, moisture content, strength, chemical composition, technological properties.

**Введение**

Бассейн КМА уникален не только огромными запасами железных руд, но и запасами других видов минерального сырья, в частности природным мелом.

Мел относится к полускальным породам, но его физико-механические свойства зависят не только от структурно-текстурных особенностей и соотношения слагающих его компонентов, но и от природных факторов окружающей среды: влажности и температуры. В свою очередь влажность мела связана с погодными условиями, глубиной залегания и уровнем грунтовых вод в меловом водоносном горизонте. Влажность природного мелового массива существенно влияет на его разрабатываемость, то есть определяет энергоемкость его разрушения и кусковатость разрушенного мела.

Мел является широко используемым общераспространенным полезным ископаемым. На Государственном балансе только в Белгородской области учтено 381,7 млн. м<sup>3</sup> [1], [2], а годовой объём добычи мела в России превышает 13 млн. тонн, причем прогнозные ресурсы данного полезного ископаемого практически не ограничены. Разработка

месторождений природного мела ведется исключительно открытым способом – карьерами в один или несколько уступов. Выемка мела осуществляется экскаваторами, транспортировка – автосамосвалами.

На Лебединском и Стойленском месторождениях железистых кварцитов попутно добывается до 3 млн. тонн мела в год, основная часть которого перерабатывается заводами АО «Руслайм» (0,14 млн. т) и ЗАО «Осколцемент» (2,6 млн. т).

Попутная добыча мела для цементного производства планируется и при освоении перспективных месторождений КМА [3], таких как Приоскольское, Чернянское, Погромецкое, поэтому исследования технологических свойств этого минерала не теряют актуальности со времени вскрытия первых железорудных карьеров.

Целью исследований является определение влияния влажности природного мела на его прочность и прилипаемость при добыче и переработке, а также химического состава на качество получаемой меловой продукции.

Задачи исследований:

- анализ процесса прилипания мела к рабочим органам машин в зависимости от его влажности и гранулометрического состава;
- определение прочности добываемого мела естественной влажности и ее изменение при воздушно-сухом и водонасыщенном состоянии;
- анализ зависимости «чистоты» мела от глубины залегания и ее влияния на получение различных видов меловой продукции.

### Методы и принципы исследования

Лабораторные исследования влажности и прочности проводились на образцах мела месторождений Белгородской области, в частности из Лебединского месторождения с разных горизонтов карьера было отобрано 50 монолитов мела по ГОСТ 2153.0–75 [4].

Определение содержания влаги в образцах мела осуществлялось в лаборатории геолого-технологических исследований НИИКМА по ГОСТ 19219–73 [5].

Подготовка для определения прочности при одноосном сжатии и испытание образцов мела производилась в соответствии с ГОСТ 21153.2–84 [6]. Стадии подготовки образцов мела включали:

- часть образцов с естественной влажностью высушивалась при температуре 105-110° С;
- другая часть помещалась в емкость с водой на 24 часа для частичного их водонасыщения;
- третья – в воду на 72 часа до полного их водонасыщения.

Экспериментальные исследования прочности мела выполнялись при помощи гидравлического прессы ЦДМ – 100.

### Результаты исследования

Ведущими специалистами по открытым горным работам академиком Ржевским В. В. и профессором Гальпериным А. М. установлено, что физико-механические показатели мела существенно влияют на технологические процессы разработки, перемещения, дробления и грохочения [7], [8]. Еще в ранних исследованиях НИИКМА (Акционерное общество «Научно-исследовательский институт по проблемам курской магнитной аномалии им. Л.Д.Шевякова») [9], [10], [11] в начале разработки меловых горизонтов железорудных карьеров было доказано, что процессы налипания и тиксотропии мела начинают активно проявляться при его влажности выше критической, т. е. выше 25%.

Кроме проявления фактора адгезии мела в зависимости от его влажности, отмечается влияние особенности фракционного состава и добавок подсушенного мела при налипании. Исследования гранулометрического состава природного комового мела проводились с целью определения эффективности экскавации и транспортирования его из карьера, а также первичной переработки мелового камня.

Доказано, что мел, в зависимости от влажности и крупности составляющих фракций (рис.1), характеризуется разным временем начала прилипания – от долей минуты до нескольких минут. С уменьшением влажности и увеличением размера кусков увеличивается время, а, соответственно, и расстояние нормального транспортирования, например, по конвейерным трактам. Из полученных результатов следует, что мелкие фракции мела более чувствительны к динамическим воздействиям на перегрузочных узлах технологических линий. Наглядно это показано на графике (рис. 2), где приведены кривые налипания переувлажненного мела при двух значениях влажности: 31-32% и 34-35%.

Качественный однородный мел в карьерах Белгородской области залегает в нижних горизонтах меловой толщи, где влажность его может достигать 35%. Традиционная добыча производится одно или многоковшовыми экскаваторами с транспортированием самосвалами, думпкарами и ленточными конвейерами, что сопряжено с определенными трудностями вследствие налипания породы на рабочие органы машин. Ковшовая экскавация и перегрузка сырья способствуют образованию пылевой фракции, наиболее склонной к прилипанию. Кроме того, технология производства качественных меловых продуктов предусматривает сушку сырья, затраты на которую при такой влажности значительно обременяют себестоимость конечного продукта.

Современный способ добычи мела в открытых карьерах предусматривает применение гидравлического экскаватора с роторной фрезой, зубья которой отделяют от массива необходимую фракцию без излишнего диспергирования для последующей естественной сушки и доставки на перерабатывающее производство. Предлагаемое технологическое решение для улучшения параметров разрабатываемости меловых горизонтов обеспечивает энергосбережение мелового производства, в том числе и за счет снижения влажности мела (до 12-26%) в процессе подготовки массива к выемке путем фрезерования.

Классификация меловых пород по тиксотропии и липкости в зависимости от их природной влажности, предложенная профессором Сотниковым Л. Л. [12], используется для прогноза разрабатываемости и переработки меловых месторождений КМА (табл. 1).

В начальный период освоения рудных месторождений КМА на вскрышных работах по экскавации рыхлых и полускальных пород, включая меловые, широко использовались роторные горно-вскрышные комплексы, последний из которых КУ-800 производства Чехословакии перестал эксплуатироваться на Стойленском ГОКе совсем недавно. Вскрышные работы такие комплексы осуществляли только при положительных температурах на маловлажных породах. В настоящее время экскавация производится круглогодично ковшовыми машинами ЭШ и ЭКГ с транспортированием пород в отвал рыхлой вскрыши. Использование гидравлического экскаватора с фрезой для добычи качественного мела повышенной влажности в рудном карьере проблематично по технологии горно-вскрышных работ, однако большие объемы вскрытого мела позволяют подбирать селективно участки хорошего химического состава и невысокой влажности для ковшовой экскавации.

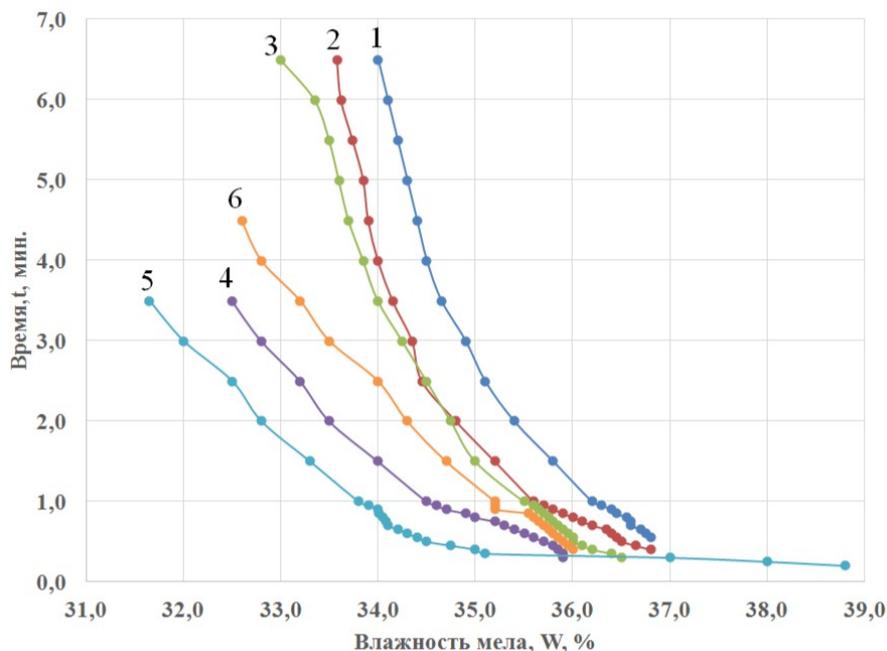


Рисунок 1 - Изменение времени начала прилипания мела от влажности различных фракций:  
 1 – (10); 2 – (10÷6,3); 3 – (5÷4); 4 – (4÷3,15); 5 – (2,5÷0,8); 6 – рядовая смесь из карьера  
 DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2024.1.1.1>

Примечание: 20 % – частиц 0÷3; 30 % – 3÷5; 50 % – 5÷10

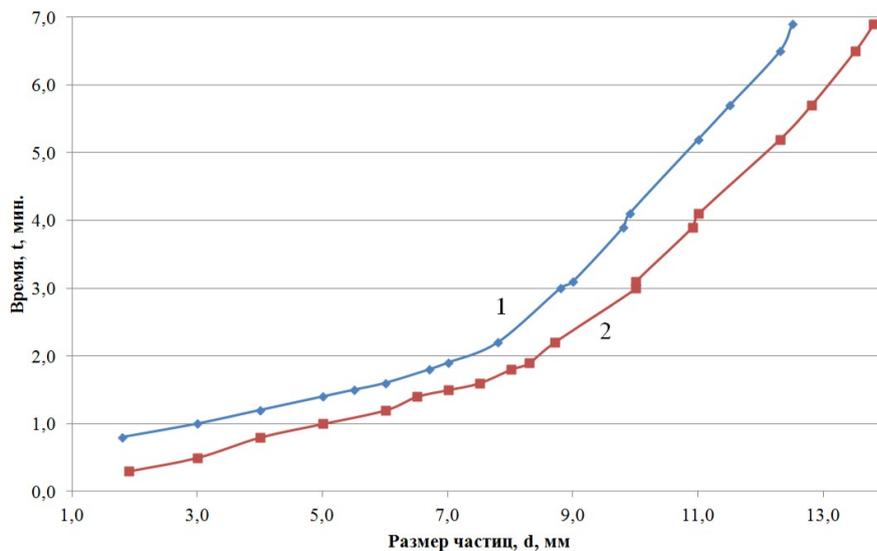


Рисунок 2 - Изменение времени начала прилипания мела от размера частиц переувлажненного мела:  
 1 – 31÷32 %; 2 – 34÷35 %  
 DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2024.1.1.2>

Таблица 1 - Классификация природного мела по влажности

DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2024.1.1.3>

Группа	Влажность мела, %	Свойства мела
1	8	Сухой, не прилипает, не тиксотропен.
2	8÷16	Слабо влажный, прилипает, но не тиксотропен.
3	16÷24	Влажный, прилипает, частично тиксотропен. (медленно разжижается и быстро схватывается).
4	24÷32	Очень влажный, прилипает и устойчиво тиксотропен (быстро разжижается и быстро схватывается).
5	32÷40	Повышенной влажности, прилипает и частично тиксотропен (быстро разжижается и медленно схватывается).
6	40÷50	Переувлажненный, слабо прилипает и не тиксотропен.

Для определения влияния физико-механических свойств и химического состава на технологические свойства мела в НИИКМА были проведены геолого-технологические исследования [10], [11], [13] ряда месторождений Белгородской области (Лебединское, Стойленское, Чернянское и Алексеевское).

Практически на всех месторождениях выявлена общая тенденция увеличения влажности мела с глубиной. В пределах абсолютных отметок +180 ÷ +150 м средняя влажность составляет 17-18%. Ниже отметки +150 м она резко увеличивается до 38-40% (рис.3). Максимальная влажность мела определяется отметкой уровня подземных вод.

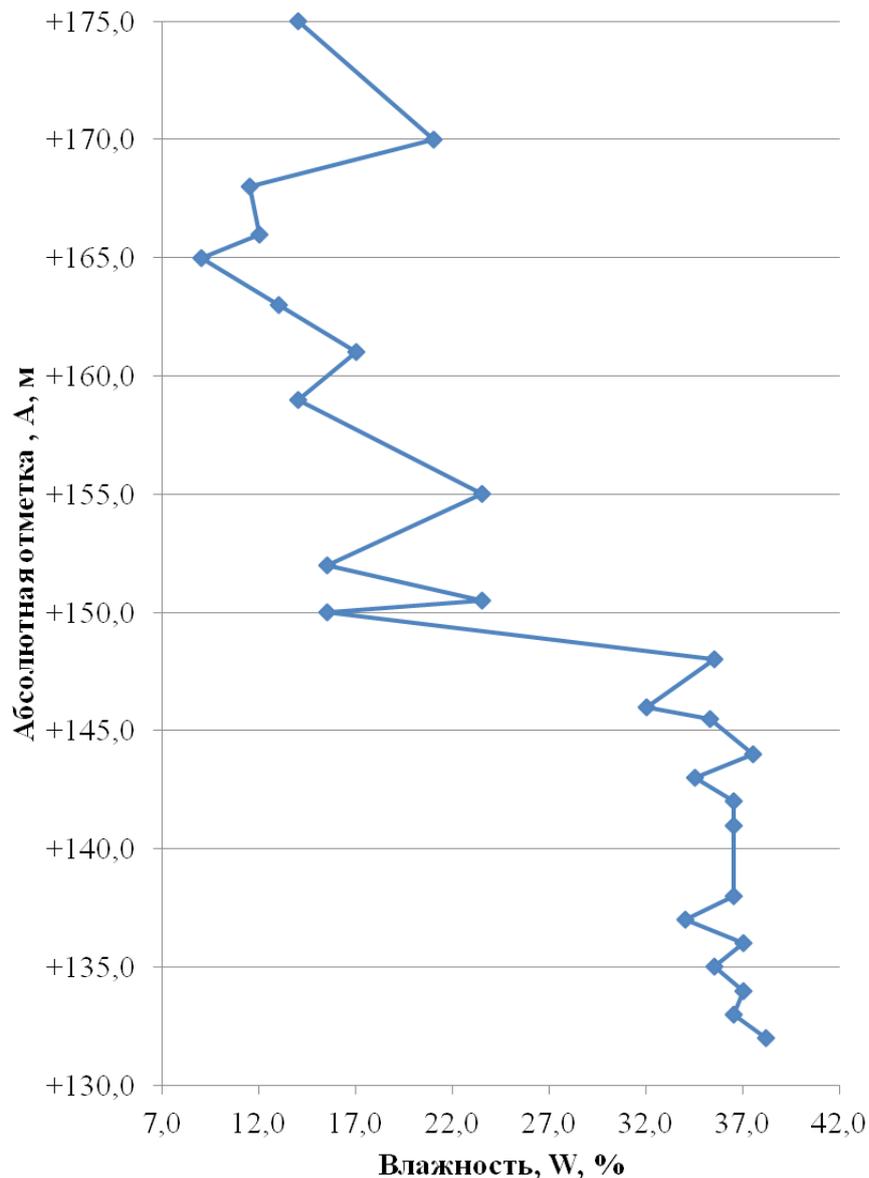


Рисунок 3 - Зависимость изменения влажности мела от глубины залегания  
DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2024.1.1.4>

Влажность оказывает существенное влияние и на прочностные характеристики мела, которые в свою очередь определяют энергоёмкость разрушения мелового массива. Для сравнения испытывались образцы мела при естественной влажности, в высушенном и в водонасыщенном состоянии. По результатам испытаний определялись зависимости временного сопротивления одноосному сжатию образцов мела от его влажности (рис. 4).

Установлено, что показатели прочности мела изменяются в широких пределах от 0,2 до 3,2 МПа, причем наибольшее значение показывают образцы мела воздушно-сухого состояния, а наименьшее частично водонасыщенные. Интересен тот факт, что снижение прочности мела при насыщении водой – временный и обратимый процесс и после высыхания мел восстанавливает свою первоначальную прочность. Сопротивление сжатию добываемого мела Лебединского карьера с естественной влажностью в 10-20% колеблется в пределах 0,4-1,2 МПа.

В целом, резкое снижение прочности образцов мела начинается уже при влажности 2-10%, дальнейшее увлажнение до 30% несколько стабилизирует падение прочности, которая достигает своего минимума в частично водонасыщенных образцах.

В высушенных образцах, вследствие удаления воды из контактов между частицами, прочность достигает своих максимальных величин. Это объясняется возрастанием интенсивности электростатического и молекулярного взаимодействия между частицами, упрочняющего меловую породу.

Добываемые основные меловые породы условно можно разделить на 2 категории по разрабатываемости – низкой прочностью с влажностью более 30% и средней с естественной влажностью в 10-30%. Прочность, влияющая в первую очередь на энергоёмкость разрушения, у влажных пород в два с лишним раза ниже, однако повышенная липкость нивелирует это достоинство разрабатываемости. Аналогичные закономерности подтверждаются и мировым опытом исследования меловых пород разнообразного структурного состояния, так испытания в Бразилии показали четырехкратное снижение прочности насыщенных образцов относительно сухих, а в подземных меловых шахтах на

севере Франции прочность доломитовых меловых пород падала только в 1,5 раза, тогда как глауконитовых – в 3 [14], [15].

При промерзании мела в зимнее время он переходит в категорию полускальных и скальных пород, что описано в классификации Овчинникова А.В. [16], выделяющей 5 категорий мела по разрабатываемости. Изменение климата в Белгородском регионе в сторону потепления предполагает планирование наработки сырья для получения меловых продуктов и ведение вскрышных работ на железорудных карьерах при положительных температурах, поэтому исследования остальных трех категорий прочного мела не являются настолько актуальными.

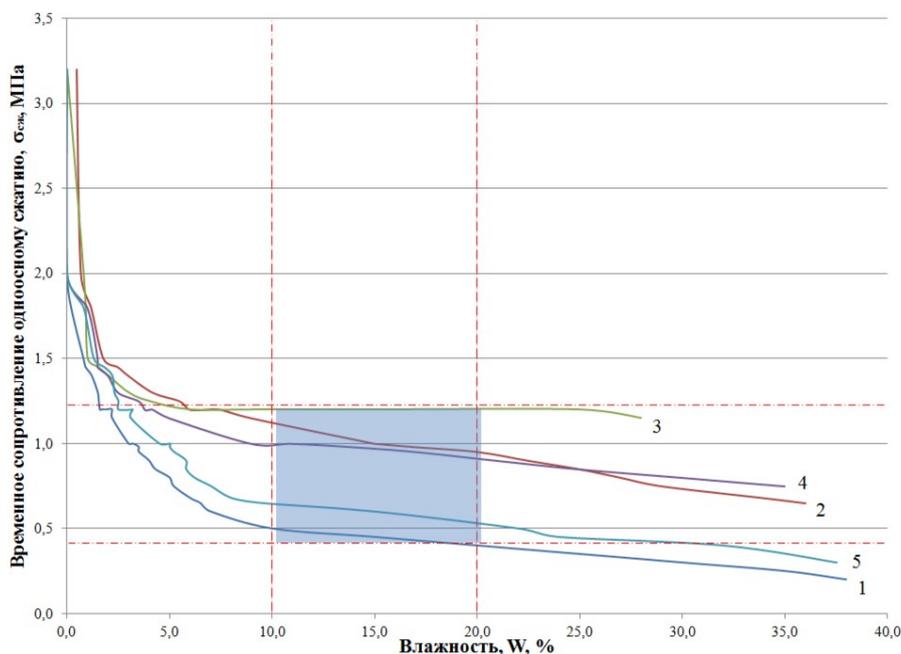


Рисунок 4 - Зависимость временного сопротивления одноосному сжатию образцов мела от его влажности:

1 – северо-восточный борт карьера, ЛГОК гор.+137 ÷ +150 м; 2 – северо-восточный борт карьера, ЛГОК гор.+150 ÷ +163 м; 3 – северо-восточный борт карьера, ЛГОК гор.+163 м и более; 4 – юго-западный борт карьера, ЛГОК гор.+150 ÷ +163 м; 5 – конвейерный отвал, СГОК; *голубой* – зона средней природной влажности добываемого мела

DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2024.1.1.5>

По результатам анализов химического состава мела установлено, что в целом содержание карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ) увеличивается с глубиной залегания меловой породы (табл. 2).

Изменение содержания карбоната кальция по глубине залегания обусловлено тем, что в средней и нижней частях толщ мел более плотный, монолитный, менее трещиноватый, без посторонних примесей. На это указывает и уменьшение нерастворимого остатка.

Исключение составляют меловые горизонты в верхних частях массива, залегающих под мергелистыми породами, которые при влажности до 20% содержат  $\text{CaCO}_3$  до 98 %, а нерастворимый осадок в них не превышает 1,5%. Мел вскрышных пород железорудных карьеров с такими же показателями добывают селективно для переработки в высокосортную меловую продукцию.

Физико-химический состав и качественные характеристики природного мела исследованных месторождений определяют целесообразность производства практически всех видов меловой продукции [17] от простого комового мела марки МК до тонкодисперсного молотового, сепарированного ММС и обогащенного ММО.

Таблица 2 - Содержание карбоната кальция по глубине мелового массива

DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2024.1.1.6>

Абсолютная отметка, м	Химический состав мела, %	
	$\text{CaCO}_3$	Нерастворимый остаток
+137	92,66	5,19
+127	93,52	4,98
+123	94,95	4,17
+118	95,96	2,04
+111	97,27	1,75
+107	97,55	1,14
+95	98,14	0,80

+91	98,16	0,34
-----	-------	------

### Заключение

Изучив влияние физико-механических характеристик и химического состава на технологические свойства мела можно сделать следующие выводы:

1. Процессы налипания и тиксотропности мела начинают активно проявляться при влажности мела выше критической – 25%.
2. Для мела с влажностью выше критической время начала прилипания увеличивается с увеличением размера кусков и уменьшением влажности.
3. Качественный однородный мел из нижних горизонтов меловой толщи имеет влажность выше критической, поэтому разрабатывать его целесообразно гидравлическим экскаватором с роторной фрезой и последующей естественной сушкой.
4. Общая тенденция изменения влажности в массиве мела по глубине залегания характеризуется ее увеличением по мере приближению к водоносным горизонтам.
5. Показатели прочности мела (временное сопротивление одноосному сжатию) Лебединского карьера в зависимости от влажности изменяются в широких пределах от 0,2 МПа для частично водонасыщенного до 3,2 МПа для воздушно-сухого, а добываемого мела естественной влажности 10-20% колеблются в пределах 0,4-1,2 МПа.
6. В целом, содержание карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ) на большинстве месторождений увеличивается с глубиной залегания меловой породы.
7. Мел вскрышных пород железорудных карьеров целесообразно добывать селективно для переработки в высокосортную меловую продукцию. Химический состав мелового сырья должен обеспечивать содержание  $\text{CaCO}_3$  не менее 98%, а нерастворимого осадка менее 1,5 % при естественной влажности до 20%.
8. Физико-химические характеристики природного мела исследованных месторождений обеспечивают его пригодность для производства высококачественной меловой продукции.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

### Conflict of Interest

None declared.

### Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

### Список литературы / References

1. Ермолович Е.А. Влияние температуры на физико-механические характеристики мела / Е.А. Ермолович, А.В. Овчинников. — М: ГИАБ, 2017. — № 2. — С. 52-61.
2. Ермолович Е. А. Исследование влияния теплового и вещественного полей на изменение физико-механических характеристик мела для оценки его разрабатываемости / Е.А. Ермолович, А.В. Овчинников // Известия ТГУ. Науки о земле. — 2020. — № 2. — С. 247-263.
3. Терехин Е.П. Оценка технической возможности и экономической эффективности гидротранспортирования измельченного промпродукта применительно к разработке перспективных месторождений КМА / Е.П. Терехин, А.А. Казанцев // Известия вузов. Горный журнал. — 2022. — № 3. — С. 55-69. — DOI: 10.21440/0536-1028-2022-3-55-69.
4. ГОСТ 2153.0-75. Породы горные. Методы физических испытаний. — Москва, 1976. — 3 с.
5. ГОСТ 19219-73. Мел природный обогащенный. Метод определения содержания влаги. — Москва, 1975. — 2 с.
6. ГОСТ 21153.2-84. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии. — Москва, 1986. — 7 с.
7. Гальперин А.М. Гидрогеология и инженерная геология. Учебник для вузов / А.М. Гальперин, В.С. Зайцев, Ю.А. Норватов. — М.: Недра, 2019. — 424 с.
8. Ржевский В.В. Открытые горные работы. Часть I. Производственные процессы. Учебник для вузов / В.В. Ржевский. — М.: Ленанд, 2021. — 512 с.
9. Перцовский Ю.М. Геолого-технологическая оценка надрудной толщи Чернянского железорудного месторождения / Ю.М. Перцовский, В.Н. Селезнев. — Губкин, 1971. — 178 с.
10. Сперанский В.М. Исследование состава и агротехнических свойств карбонатных пород месторождений КМА как сырья для известкования кислых почв / В.М. Сперанский. — Губкин, 1988. — 92 с.
11. Кудрявцев Ю.И. Обоснование возможности производства из мелов вскрыши Лебединского ГОКа мела высоких технических марок, мелиоранта для раскисления почв и сахарного камня по технологии НИИКМА. Этап 1. Результаты исследований неоднородности физико-механических свойств мела Лебединского карьера / Ю.И. Кудрявцев, М.А. Дергилев. — Губкин, 1991. — 59 с.
12. Сотников Л.Л. Исследование технологических процессов для формирования в карьере качественного мелового сырья: дис. ... д-ра техн. наук / Сотников Леонид Леонидович. — М.: МГГИ, 1996. — 327 с.
13. Хворостянова В.И. Доразведка Западного месторождения Алексеевского района для внедрения новой технологии НИИКМА по переработке мела в продукцию многоцелевого назначения / В.И. Хворостянова, Л.В. Кора. — Губкин, 1998. — 48 с.

14. Gombert P. In-situ and laboratory tests to evaluate the impact of water table fluctuations on stability of underground chalk mines / P. Gombert, C. Auvray, M. Al Heib // *Procedia Earth Planet Sci.* — 2013. — № 7. — P. 304-308. — DOI: 10.1016/j.proeps.2013.03.138.
15. Mortimore R.N. Chalk physical properties and cliff instability / R.N. Mortimore, K.J. Stone, J. Lawrence [et al.] // *Coastal Chalk Cliff Instability*, Geological Society, London, Engineering Geology Special publications / Ed. by R.N. Mortimore, A. Duperret. — 2004. — № 20.
16. Овчинников А.В. Оценка влияния тепло-влажностных полей на физические характеристики мела для прогноза его разрабатываемости: дис. ... канд. техн. наук / Овчинников Александр Владимирович. — Тула: ТГУ, 2020. — 161 с.
17. ГОСТ 17498-72. Мел. Виды, марки и основные технические требования. — Москва, 1973. — 3 с.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Ermolovich E.A. Vliyanie temperatury na fiziko-mehaniicheskie harakteristiki mela [Influence of temperature on physical and mechanical characteristics of chalk] / E.A. Ermolovich, A.V. Ovchinnikov. — M.: GIAB, 2017. — № 2. — P. 52-61. [in Russian]
2. Ermolovich E. A. Issledovanie vlijaniya teplovogo i veshhestvennogo polej na izmenenie fiziko-mehaniicheskih harakteristik mela dlja ocenki ego razrabatyvaemosti [Study of the influence of thermal and material fields on the change of physical and mechanical characteristics of chalk to evaluate its developability] / E.A. Ermolovich, A.V. Ovchinnikov // *Izvestija TGU. Nauki o zemle* [Proceedings of TSU. Earth Sciences]. — 2020. — № 2. — P. 247-263. [in Russian]
3. Terehin E.P. Ocenka tehničkoj vozmozhnosti i jekonomičkoj jeffektivnosti gidrotransportirovaniya izmel'čennogo promprodukta primenitel'no k razrabotke perspektivnyh mestorozhdenij KMA [Evaluation of technical feasibility and economic efficiency of hydrotransportation of crushed industrial products in relation to the development of promising KMA deposits] / E.P. Terehin, A.A. Kazancev // *Izvestija vuzov. Gornyj zhurnal* [Proceedings of universities. Mining Journal]. — 2022. — № 3. — P. 55-69. — DOI: 10.21440/0536-1028-2022-3-55-69. [in Russian]
4. GOST 2153.0-75. Porody gornye. Metody fizicheskih ispytanj [GOST 2153.0-75. Rocks. Methods of physical tests]. — Moscow, 1976. — 3 p. [in Russian]
5. GOST 19219-73. Mel prirodnyj obogashhennyj. Metod opredelenija sodержaniya vlagi [GOST 19219-73. Natural enriched chalk. Method for determination of moisture content]. — Moscow, 1975. — 2 p. [in Russian]
6. GOST 21153.2-84. Porody gornye. Metody opredelenija predela prochnosti pri odnoosnom szhatii [GOST 21153.2-84. Rocks. Methods of determination of uniaxial compression strength]. — Moscow, 1986. — 7 p. [in Russian]
7. Gal'perin A.M. Gidrogeologija i inženernaja geologija. Učebnik dlja vuzov [Hydrogeology and engineering geology. Textbook for universities] / A.M. Gal'perin, V.S. Zajcev, Ju.A. Norvatov. — M.: Nedra, 2019. — 424 p. [in Russian]
8. Rzhetskij V.V. Otkrytye gornye raboty. Chast' I. Proizvodstvennyje processy. Učebnik dlja vuzov [Open cast mining operations. Part I. Production processes. Textbook for universities] / V.V. Rzhetskij. — M.: Lenand, 2021. — 512 p. [in Russian]
9. Percovskij Ju.M. Geologo-tehnologičeskaja ocenka nadrudnoj tolshhi Chernjanskogo zhelezorudnogo mestorozhdenija [Geological and technological assessment of the Chernjanskoye iron ore deposit overburden strata] / Ju.M. Percovskij, V.N. Seleznev. — Gubkin, 1971. — 178 p. [in Russian]
10. Speranskij V.M. Issledovanie sostava i agrotehničeskijh svojstv karbonatnyh porod mestorozhdenij KMA kak syr'ja dlja izvestkovanija kislyh pochv [Study of composition and agrotechnical properties of carbonate rocks of KMA deposits as raw materials for liming of acid soils] / V.M. Speranskij. — Gubkin, 1988. — 92 p. [in Russian]
11. Kudrjavcev Ju.I. Obosnovanie vozmozhnosti proizvodstva iz melov vskryshi Lebedinskogo GOKa mela vysokijh tehničeskijh marok, melioranta dlja raskislenija pochv i sahnarnogo kamnja po tehnologii NIIKMA. Jetap 1. Rezul'taty issledovanij neodnorodnosti fiziko-mehaničeskijh svojstv mela Lebedinskogo kar'era [Justification of the possibility of production of high technical grades of chalk, ameliorant for soil deoxidation and sugar stone from overburden chalks of Lebedinsky GOK using NIICMA technology. Stage 1: Results of studies of heterogeneity of physical and mechanical properties of Lebedinsky open pit chalk] / Ju.I. Kudrjavcev, M.A. Dergilev. — Gubkin, 1991. — 59 p. [in Russian]
12. Sotnikov L.L. Issledovanie tehnologičeskijh processov dlja formirovaniya v kar'ere kachestvennogo melovogo syr'ja [Study of technological processes for the formation of quality chalk raw material in the quarry]: dis. ... PhD in Technical Sciences / Sotnikov Leonid Leonidovich. — M.: MGGI, 1996. — 327 p. [in Russian]
13. Hvorostjanova V.I. Dorazvedka Zapadnogo mestorozhdenija Alekseevskogo rajona dlja vnedrenija novoj tehnologii NIIKMA po pererabotke mela v produkciju mnogocelevogo naznachenija [Additional exploration of the West deposit of Alekseevsky district to introduce new NIICMA technology for processing chalk into multipurpose products] / V.I. Hvorostjanova, L.V. Kora. — Gubkin, 1998. — 48 p. [in Russian]
14. Gombert P. In-situ and laboratory tests to evaluate the impact of water table fluctuations on stability of underground chalk mines / P. Gombert, C. Auvray, M. Al Heib // *Procedia Earth Planet Sci.* — 2013. — № 7. — P. 304-308. — DOI: 10.1016/j.proeps.2013.03.138.
15. Mortimore R.N. Chalk physical properties and cliff instability / R.N. Mortimore, K.J. Stone, J. Lawrence [et al.] // *Coastal Chalk Cliff Instability*, Geological Society, London, Engineering Geology Special publications / Ed. by R.N. Mortimore, A. Duperret. — 2004. — № 20.
16. Ovchinnikov A.V. Ocenka vlijaniya teplo-vlazhnostnyh polej na fizicheskie harakteristiki mela dlja prognoza ego razrabatyvaemosti [Assessment of the influence of heat and moisture fields on the physical characteristics of chalk to predict its developability]: dis. ... PhD in Technical Sciences / Ovchinnikov Aleksandr Vladimirovich. — Tula: TSU, 2020. — 161 p. [in Russian]

17. GOST 17498-72. Mel. Vidy, marki i osnovnye tehicheskie trebovanija [GOST 17498-72. Chalk. Types, grades and basic technical requirements]. — Moscow, 1973. — 3 p. [in Russian]