

## ОЦЕНКА МАСШТАБНОГО ЭФФЕКТА БЕЛОГО ПИСЧЕГО МЕЛА КМА

**С.В. Сергеев**  
**А.В. Овчинников**

*Белгородский государственный  
национальный исследовательский  
университет,  
Россия, 308015, г. Белгород,  
ул. Победы, 85*

*E-mail: ovchinnikov@bsu.edu.ru;  
sergeev@bsu.edu.ru*

Рассмотрены лабораторные испытания образцов белого писчего мела на одноосное сжатие с целью исследования масштабного эффекта. Испытания проведены на современном автоматизированном оборудовании. Получена масштабная зависимость прочности на одноосное сжатие в зависимости от размера образца. Выявлено значительное уменьшение модуля деформации с увеличением диаметра испытываемых образцов. Рассмотрен один из методов перехода от «образца к массиву» с учетом его трещиноватости.

Ключевые слова: масштабный эффект, одноосное сжатие, прочность, модуль деформации, коэффициент ослабления, трещиноватость.

Масштабной зависимостью в механике горных пород называют, зависимость свойств горных пород от размеров образца или объема их масс [1]. Экспериментальные данные о влиянии масштабного фактора имеются в работах Карташова Ю.М., Дашко Р.Э., Барона Л.И., Чиркова С.Е., Викторова А.М., Кузнецова Г.М., Руппенейта К.В. и др. и в ряде случаев они носят противоречивый характер [2]. Для меловых пород подобные исследования не проводились.

В работе Чиркова С.Е. [3] по изучению влияния масштабного фактора на прочность углей установлено, что прочностные свойства под влиянием масштабного фактора изменяются в 10 раз и более. Поэтому, не зная закономерностей проявления масштабного фактора, можно при расчете получать завышенные или заниженные результаты.

Размер образца оказывает существенное влияние на прочность исследуемого грунта, особенно это касается трещиноватых грунтов. Образцы с меньшим диаметром показывают большую прочность, по-видимому, из-за того, что они имеют большую сплошность, по сравнению с образцами большого диаметра, в объеме которых находится большее количество трещин [4].

По мнению Леоньчева А.В. [5] параметр предела прочности на сжатие  $R_{сж}$  характеризует заниженную прочность мело-мергельных пород, т.к. следует признать существенное, и даже определяющее влияние на  $R_{сж}$  микротрещиноватости мела, которая неотъемлемо присутствует в испытываемых на прочность лабораторных образцах. Как показывают наши исследования, микротрещиноватость хорошо видна при микроскопическом исследовании структурно-текстурных особенностей мела в шлифах [6].

По ряду инженерно-геологических классификаций, в частности проф. Н.Н. Маслова, мел и мело-мергельные породы относятся к горным породам особого типа, на которые перенесение стандартных подходов, как правило, приводит к принципиальным ошибкам [5].

В регионе КМА, где мела применяются в качестве оснований и являются средой для сооружений различного назначения, исследование масштабного эффекта мела является весьма актуальной задачей. С этой целью нами проведены испытания мела на одноосное сжатие.

В качестве исследуемого материала нами использовался белый писчий мел кампан-маастрихтского возраста ( $K_{2cp-m}$ ) с добычных уступов карьера месторождения «Зеленая Поляна». Чтобы в меньшей степени нарушить естественную структуру образцов, их подготовка осуществлялась вручную путем постепенного вырезания ножом и режущими кольцами из массивных монолитов.

На первом этапе определялись физические характеристики испытываемых об-



разцов. Они составили следующие значения:

1. естественная влажность,  $W$  – от 10 до 15%;
2. естественная плотность,  $\rho$  – 1.56 г/см<sup>3</sup>;
3. плотность твердых частиц,  $\rho_s$  – 2.70 г/см<sup>3</sup>;
4. влажность на границе текучести,  $W_L$  – 34.03%;
5. влажность на границе раскатывания,  $W_p$  – 23.18%;
6. число пластичности,  $J_p$  – 10.85%;
7. пористость,  $n$  – 48.6%;
8. коэффициент пористости,  $e$  – 0.94 д.е.;
9. коэффициент водонасыщения,  $S_r$  – 0.36 д.е.

Испытания проводились с использованием автоматизированных систем испытаний в лабораториях:

1. НИУ «БелГУ» – в лаборатории механических испытаний и аналитического контроля ЦКП «Диагностика структуры и свойств наноматериалов» на универсальной напольной электромеханической испытательной машине Instron 5882 и 3369, производства США; в лаборатории механики грунтов кафедры инженерной геологии и гидрогеологии на установке одноосного сжатия ГТ 0.5.1 автоматизированной системы испытаний в строительстве (АСИС-1) фирмы ООО НПП «ГЕОТЕК»;

2. НИУ «СПбГУ» – в лаборатории механических свойств Центра инженерных изысканий на универсальной испытательной машине серии Super «L» фирмы Tinius Olsen.

Экспериментальные исследования проведены в соответствии с ГОСТ 12248-96 [7]. Испытывались цилиндрические образцы различного диаметра (38, 50, 70 и 100 мм) при одинаковом отношении высоты к диаметру  $\frac{h}{d} = 2$ . Нагружение испытуемых образцов производилось равномерно, с заданной скоростью деформирования образца 0.05 мм/мин до полного их разрушения.

Экспериментальные данные испытаний приведены в таблице 1, а на рисунке 1 приведен график масштабной зависимости прочности от площади поперечного сечения образца.

Таблица 1

**Зависимость прочности на одноосное сжатие мела в зависимости от размера образца**

Диаметр образца, мм (площадь образца, см <sup>2</sup> )	37.0-39.6 (10.75-12.31)	49.2-52.3 (19.0-21.5)	69.9 (38.4)	98.0 (75.4)
Прочность на одноосное сжатие, МПа	<u>1.18-0.95 (15*)</u> 1.03	<u>0.80-0.89 (10*)</u> 0.83	<u>0.65-0.78 (5*)</u> 0.69	<u>0.51-0.59 (3*)</u> 0.54

Примечание: в скобках со звездочкой указано количество испытанных образцов.

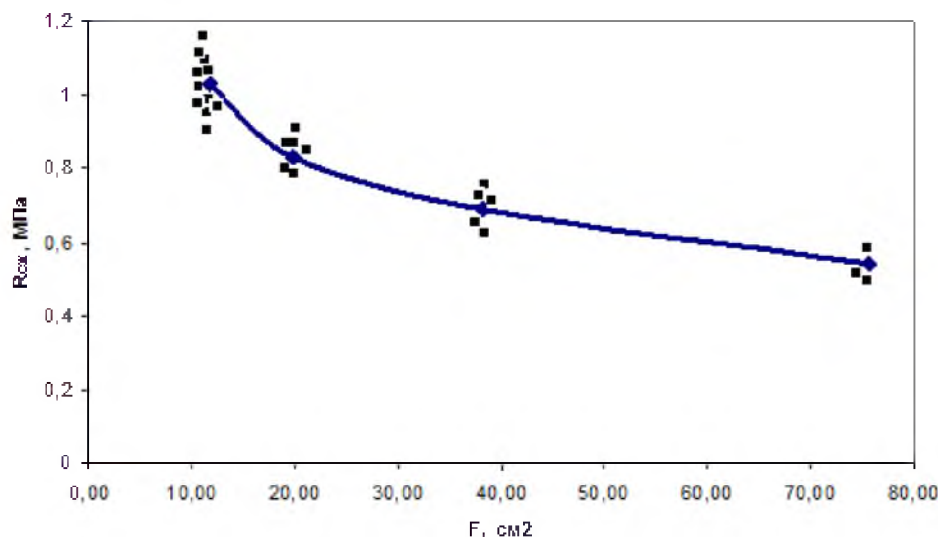


Рис. 1. График масштабной зависимости

По результатам испытаний для образцов разного размера получены также модули деформации. Он определяется как тангенс угла наклона прямой, проведенной через выбранное значение вертикального напряжения, составляющее до 60% от значения предельной прочности [4, 8]. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Средние значения модуля деформации для образцов разного размера**

Модуль деформации, МПа			
Диаметр 39 мм	Диаметр 50 мм	Диаметр 70 мм	Диаметр 100 мм
339	228	209	174

Из таблицы 2 видно значительное уменьшение модуля деформации с увеличением диаметра испытываемых образцов.

Современное автоматизированное оборудование позволяет получить детальные диаграммы результатов испытаний (рис. 2).

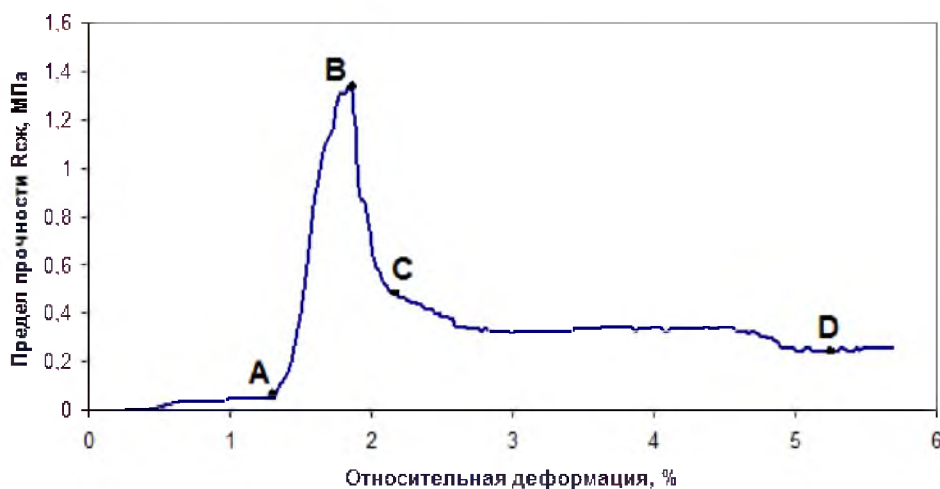


Рис. 2. Пример диаграммы результатов одноосных испытаний мела

На диаграммах часто можно выделить следующие характерные участки (см. рисунок 2):

1. участок разрушения структурных связей (точки O-A);
2. участок уплотнения (точки A-B);
3. участок разрушения образца (точки B-C);
4. участок запредельной прочности образца (точки C-D).

На участке O-A происходит разрушение вначале слабых, а затем и жестких структурных связей при высокой пористости образца. На участке A-B происходит уплотнение образца и предел прочности образца при одноосном сжатии соответствует точке B на графике. При дальнейшем деформировании образец разрушается, и его несущая способность уменьшается. Кривая деформирования B-C-D называется запредельной областью деформирования и на участке C-D характеризуется величиной остаточной прочности образца [9]. Следует отметить, что образец в области деформирования B-D разрушен, однако сохраняет несущую способность. В любой точке на кривой B-D процесс деформирования образца можно остановить, провести разгрузку образца и дальнейшее нагружение. При этом, если разгрузка образца была начата, например, в точке C, то при дальнейшем нагружении кривая «нагрузка-деформация» дойдет до точки C, а затем начнет идти по линии C-D.

В работе [10] отмечается, что существует много общего в механическом поведении монолитного образца в запредельной области деформирования и скальным массивом в натуральных условиях.

Фадеев А.Б. предложил [9], что «массив трещиноватых горных пород в условиях естественного залегания представляет собой не что иное, как некогда «монолит-



ный» образец, деформированный тектоническими силами до существующей степени трещиноватости. Таким образом, при изучении запредельных характеристик монолитных образцов некоторым образом моделируется процесс формирования трещиноватого массива и его запредельные свойства».

Таким образом, свойства горной породы в образце отличаются от их свойств в условиях естественного залегания. Переход от «образца к массиву» является сложной и до конца не решенной проблемой. Этими вопросами занимался Фисенко Г.Л., Бублик Ф.П., Бич Я.А., Кузнецов С.Т., Фадеев А.Б., Кузнецов Г.Н., Розенбаум М.А., Стеценко В.П., Палий В.Д., Нестеренко Г.Т. и др.

Масштабный эффект часто оценивают коэффициентом ослабления  $k_c$ . Чем меньше этот коэффициент, тем больше влияние масштабного эффекта.

Коэффициент ослабления – это мера влияния трещиноватости горных пород на их свойства. Он равен отношению прочности горных пород в условиях естественного залегания к их прочности в образце. Численное значение данного коэффициента существенно зависит от размеров исследуемого образца [1].

В работе [11] представлен один из методов перехода от «образца к массиву», где расчетное сопротивление пород (массива) сжатию  $R_c$  следует определять по формуле:

$$R_c = R_{сж} k_c,$$

где  $k_c$  – коэффициент, учитывающий дополнительную нарушенность массива пород поверхностями без сцепления, либо с малой связностью (зеркала скольжения, трещины, глинистые прослойки и др.), принимаемый по таблице 3.

Ранее нами была исследована трещиноватость меловых массивов в районе г.Белгорода [12]. На уступах мелового карьера «Зеленая Поляна» и в штольне прослеживаются три системы трещин:

1. горизонтальная система, с расстоянием между трещинами равным 1.2–1.5 м;
2. северо-западного направления (300–330°) с крутым углом падения 70–90°;
3. северо-восточного направления (30–60°) с крутым углом падения 75–85°.

Таблица 3  
**Коэффициенты ослабления  
нарушенности массива пород**

Среднее расстояние между поверхностями ослабления пород, м	Коэффициент $k_c$
более 1.5	0.9
от 1.5 до 1	0.8
от 1 до 0.5	0.6
от 0.5 до 0.1	0.4
менее 0.1	0.2

Расстояние между трещинами второй и третьей систем трещин составляет от 0.3 до 0.7 м. Часто эти две субвертикальные системы трещин образуют желобообразные формы блоков с падением трещин, как в противоположные стороны, так и навстречу друг другу.

На плоскостях трещин всех трех систем развито интенсивное ожелезнение и омарганцевание. Кроме того, на плоскостях часто наблюдаются гладкие зеркала скольжения, а также борозды скольжения, указывающие на имевшие место интенсивные неотектонические движения.

Таким образом, коэффициент  $k_c$  для меловых массивов может составлять 0.5 и ниже. При этом, при  $k_c$  равном 0.4 и среднем значении  $R_{сж}$  для малых образцов равном 1,03 МПа (при естественной влажности 10-15%), расчетное сопротивление пород (массива) сжатию  $R_c$  составит 0.41 МПа, что очень близко к величинам остаточной прочности образца, которая, как было сказано выше, может быть определена по результатам одноосных испытаний (см. рисунок 2, участок С-D).

В данном случае должен учитываться масштабный эффект, т.е. снижение прочности с ростом объема деформирующейся породы до некоторого предельного размера, определяемого критерием квазисплошности. При достижении этого критерия, трещиноватость перестает влиять на прочность массива. В таких условиях среди лабораторных методов исследования образцов обязательным является испытание образцов в условиях трехосного сжатия, в которых появляется возможность раскрытия микротрещин в условиях бокового расширения.

### Список литературы

1. Ломтадзе В.Д. Словарь по инженерной геологии. – СПб.: Санкт-Петербургский горный ин-т., 1999. – 360 с.
2. Барон Л.И., Логунцов Б.М., Позин Е.З. Определение свойств горных пород. Справочное пособие. – М.: Государственное научно-техническое изд-во литературы по горному делу, 1962. – 337 с.
3. Чирков С.Е. Влияние масштабного фактора на прочность углей. – М.: Изд-во «Наука», 1969. – 113 с.
4. Болдырев Г.Г. Методы определения механических свойств грунтов. Состояние вопроса. – Пенза: Изд-во ПГУАС, 2008. – 696 с.
5. Леонычев А.В. Мело-мергельные породы как основание опор автодорожного моста через р.Урал в районе г.Уральска // Транспортное строительство.– 1994. – № 12. – С.14–19.
6. Овчинников А.В. К вопросу о микроскопическом исследовании структурно-текстурных особенностей мела // Материалы IV международной научной конференции «Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах». – Москва – Белгород: Издательство «КОНСТАНТА». – 2010. – С.406-408.
7. ГОСТ 12248-96 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.
8. Овчинников А.В. Лабораторные испытания полускального мелового грунта для определения модуля деформации // Сборник трудов Международной конференции «Новые дороги России». – Саратов: ООО «Издательский центр «Наука». – 2011. – С. 233–239.
9. Прочность и деформируемость горных пород / Ю.М. Карташов, Б.В. Матвеев, Г.В. Михеев, А.Б. Фадеев. – М.: Недра, 1979. – 269 с.
10. Введение в механику скальных пород / Под ред. Х. Бока. Перевод с английского Андреева Ю.В. и Тизделя Р.Р. – М.: Изд-во «Мир», 1983. – 294 с.
11. Руководство по проектированию подземных горных выработок и расчету крепи. – М.: Стройиздат, 1983. – 272 с.
12. Яковчук М.М., Овчинников А.В. Тектоническая нарушенность меловых массивов КМА // Материалы II международной научной конференции «Проблемы природопользования и экологическая ситуация в европейской России и сопредельных странах». – Белгород: Изд-во БелГУ, 2006. – С. 75-78.

## ASSESS THE LARGE SCALE EFFECT OF KMA WHITE CHALK

**S.V. Sergeev**  
**A.V. Ovchinnikov**

*Belgorod State National Research University  
Pobedy St., 85, Belgorod, 308015,  
Russia*

*E-mail: ovchinnikov@bsu.edu.ru,  
sergeev@bsu.edu.ru*

The authors consider the laboratory tests on samples of white chalk in uniaxial compression to study the large scale effect. Tests are performed at the modern automated equipment. The large-scale dependence of strength on uniaxial compression, depending on the size of the sample, are obtained. The significant decrease of the modulus of deformation with increasing diameter of the samples are detected. One of the methods of transition from the 'sample to the massif, taking into account the fracture, are considered.

Key words: large scale effect, uniaxial compression, strength, modulus of deformation, attenuation coefficient, fracture.