

УДК 622.016.22:622.02.023

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРНЫХ ПОРОД ОТ ГЛУБИНЫ ИХ ЗАЛЕГАНИЯ

**Феофанов А.Н., Терлецкий А.М.**  
(УкрНИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

*На підставі міцносних випробувань більш ніж 6600 літологічних різностей, одержаних під час проведення вертикальних стволів, шурфів, свердловин, досліджено зміни міцності порід залежно від глибини основних літологічних шарів при різному ступені метаморфізму.*

*Changes of the main lithologic layers at different metamorphic grade are investigated on the basis of serf tests more than 6600 litological differences, received during carrying out vertical shafts, holes, chinks*

Физико-механические свойства пород карбона Донецкого бассейна исследовались различными производственными и научно-исследовательскими организациями. По результатам исследований получено распределение прочностных свойств пород горного массива в зависимости от различных факторов. В настоящее время достаточно хорошо изучены связи физико-механических свойств пород с их вещественно-петрографическим составом, структурой и текстурой, степенью их катагенетических изменений. Эти изменения в работах по угольной геологии не вполне точно называют степенью метаморфизма (П.В. Васильев, С.И. Малинин, В.Л. Свержевский и др.) [1, 2].

Исследования, проведенные ранее в НПО "Укруглегеология" [3, 4] показали, что прочностные свойства горных пород в наибольшей степени связаны именно с

изменением глубины. В результате проведенного анализа были получены зависимости прочностных свойств горных пород от глубины их залегания. Однако, в связи с тем, что эти исследования были выполнены без использования современных средств обработки больших объемов статистических данных, установленные закономерности, на наш взгляд, следует рассматривать, главным образом, как предварительный результат.

Исследования [5, 6] показали, что увеличение прочности по всем литологическим разностям горных пород основных угольных бассейнов на территории бывшего СССР практически одинаково и составляет от 3,5 до 5,0 % на каждые 100 м возрастания глубины, то есть подчиняется линейной зависимости.

Из последних публикаций на данную тему стоит обратить внимание на работы Е.И. Питаленко, В.Н. Реввы и др., в которых по данным ПО "Донбассгеология" определены зависимости прочностных свойств для основных групп горных пород при разной степени метаморфизма и увлажненности от глубины их залегания.

Общей чертой этих публикаций является то, что во всех работах зависимость распределения прочностных свойств горных пород от глубины их залегания предложена в линейном виде, что не может быть объяснено с физической точки зрения, так как прочность пород имеет свой предел. Параметры установленных различными авторами закономерностей существенно отличаются. Кроме того, данные исследования проведены, главным образом, для глубин до 700 м, и при экстраполяции дают завышенные результаты.

Учитывая, что данные зависимости могут использоваться в разных областях горного дела (построение зон ПГД, определение углов сдвига и т.п.), актуальной задачей является не только определение общей тенденции распределения, но и установление максимально точных соотношений распределения прочностных свойств горных пород от глубины их залегания.

За десятки лет, в течение которых УкрНИМИ занимается вопросами охраны и поддержания капитальных выработок шахт

Донбасса, в том числе вертикальных стволов, шурфов и технических скважин, был накоплен значительный объем информации о физико-механических свойствах горных пород, в частности, об их прочностных характеристиках в районах с различной степенью метаморфизма и при различных углах падения. Данные сведения получены из журналов проходки вертикальных горных выработок и геологических разрезов по разведочным скважинам, куда они заносились по результатам испытаний образцов горных пород, и обладают высокой достоверностью. Из анализа были исключены объекты, по которым приведенные в исходной документации физико-механические свойства горных пород вызывали сомнения. Общие сведения по источникам исходных данных, по которым были проведены исследования, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Общие сведения по источникам исходных данных

Объекты исследования	Количество
Производственные объединения	12
Шахты	35
Стволы (скважины)	53
Литологические слои	6680

Накопленные данные позволили провести независимый анализ влияния глубины на физико-механические свойства горных пород, в частности предела прочности на одноосное сжатие  $R_c$ , который наряду с глубиной является одним из определяющих факторов для выполнения большинства расчетов, применяемых в горном деле.

С целью определения вида зависимости прочностных свойств от глубины залегания породных слоев выполнено следующее:

а) все данные разделены на три группы по степени метаморфизма. В качестве показателя степени метаморфизма горных пород принят марочный состав углей. Наименее метаморфизованными являются породы, включающие угольные

пласты с марками угля Д и Г, а наиболее метаморфизованными – с маркой А. Из области исследования была исключена зона выветренных пород, которая уменьшается с возрастанием степени метаморфизма, и распространяется, по данным треста «Артёмгеология» [3], для пород с марками углей Д и Г до глубины 180 м, Г и ГЖ - до глубины 70 – 80 м, ОС, Т, ПА, А - до глубины 40 м. Исследования проведены до глубины 1400 м (для пород со степенью метаморфизма, соответствующей маркам угля Д и Г – до 900 м).

б) определена средняя прочность всех пород по каждому 100 м глубины по каждому из объектов (стволов, шурфов, скважин);

в) по всем 100-метровым интервалам глубин было получено среднее значение по каждой из групп метаморфизма;

г) полученные ряды данных подвергнуты регрессионному анализу.

По результатам вычислений получено распределение прочностных свойств горных пород по каждой из трех предложенных групп метаморфизма и в целом по всей совокупности исходных данных с учетом их весовых показателей, которые наиболее точно аппроксимируются гиперболической зависимостью, обладающей свойствами асимптотической функции. То есть, в общем виде зависимость распределения средней прочности горных пород массива на одноосное сжатие  $R_c$ , МПа можно описать формулой

$$R_c = A - \frac{B}{H^c}, \quad (1)$$

где  $H$  – глубина залегания слоя, м.

Коэффициенты, приведенные в этой формуле для различных групп метаморфизма, а также корреляционное отношение  $R$  и среднее квадратическое отклонение (СКО) приведены в таблице 2.

Полученные графики распределения прочностных свойств приведены на рис. 1.

Анализируя графики, необходимо отметить возрастание прочностных свойств горных пород с глубиной во всех группах метаморфизма. Добавим, что коэффициент корреляции полученных зависимостей достаточно высок (от 0,82 до 0,97 при

СКО от 0,9 до 6,3 МПа), что говорит о надежности предлагаемых формул.

Таблица 2

Коэффициенты распределения и статистические величины полученных зависимостей в условно выделенных группах по степени метаморфизма

Группы метаморфизма (по маркам угля)	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>R</i>	СКО
А	97,4	688,7	0,63	0,824	6,3
К, Ж, ОС	119,6	213,6	0,20	0,987	1,8
Д, Г	78,2	167,3	0,25	0,990	1,0
Для общей совокупности	220,0	256,3	0,08	0,957	2,9

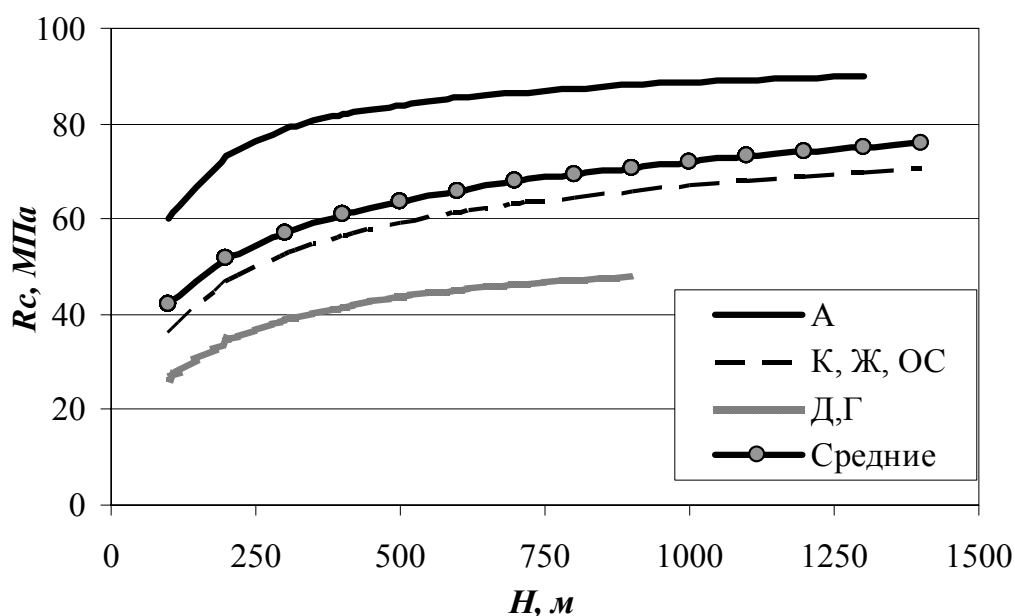


Рис. 1. Графики распределения прочностных свойств по глубине при различной степени метаморфизма и для общей совокупности исходных данных (средние)

Учитывая существенную разницу между прочностными характеристиками различных горных пород, значительный интерес представляет связь распределения физико–механических свойств с глубиной их залегания для различных типов горных пород. Для этого исходные данные были распределены по

основным литологическим разностям (песчаники, алевролиты и аргиллиты) и также объединены в три условно выделенные группы по степени метаморфизма. Данные по статистическим группам представлены в таблице 3.

Таблица 3  
Распределение исходных данных в условно выделенных группах по степени метаморфизма

Основные литологические разности	Количество проб при марках угля		
	А, Т	К, Ж, ОС	Д, Г
Песчаники	271	147	67
Алевролиты	381	232	93
Аргиллиты	51	163	87

На рис. 2 представлены графики распределения прочности основных породных слоев на одноосное сжатие по глубине залегания в условно выделенных группах по степени метаморфизма. Наиболее точно эта связь также описывается асимптотической зависимостью. Значительные отличия для графиков при степени метаморфизма Д–Г могут быть объяснены недостаточной выборкой при глубинах свыше 500 м.

Анализ выполненных исследований свидетельствует о следующем:

1. С увеличением глубины разработки прочностные свойства пород во всех условно выделенных группах метаморфизма возрастают как в горном массиве в целом, так и отдельно для всех литологических разностей.

2. Возрастание прочностных свойств горных пород с глубиной подчиняется гиперболической зависимости, отвечающей свойствам асимптотической функции.

3. Существенные изменения прочности пород по районам, связанные с изменением метаморфизма, должны учитываться при проектировании способов крепления и управления кровлей, охраны выработок, а также при планировании проходческих и буровзрывных работ.

4. Полученные зависимости при их уточнении, которые могут быть получены при расширении исходной базы данных, могут лечь в основу для создания новых нормативных документов по проектированию горных предприятий Донбасса.

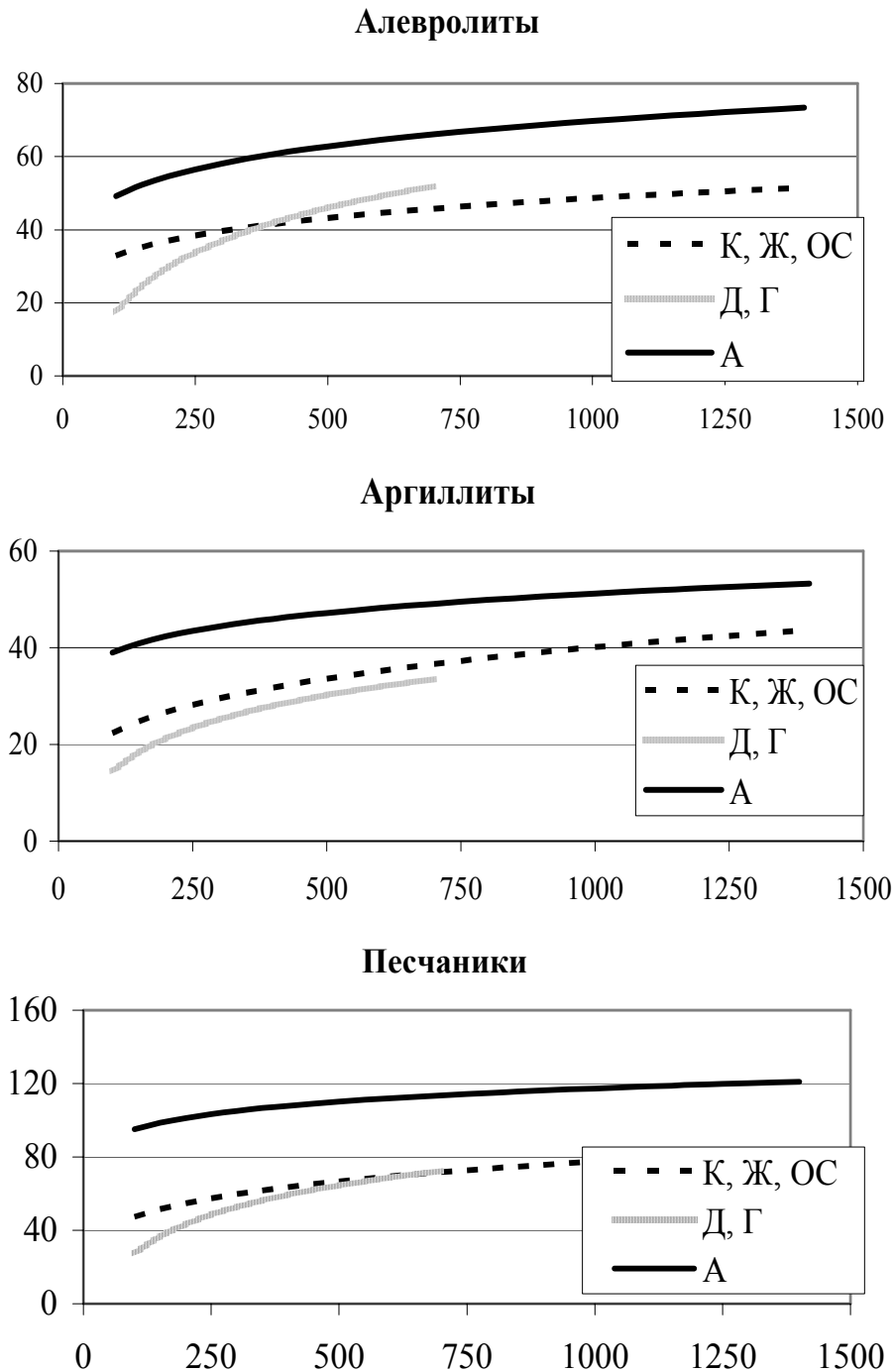


Рис. 2. Графики распределения прочностных свойств по глубине при различной степени метаморфизма для основных типов литологических разностей

## СПИСОК ССЫЛОК

1. Глушко В.Т., Свержевский В.Л. Зависимость прочности горных пород от геологических и петрографических факторов // *Механика горных пород и охрана выработок.* – К.: Наукова думка, 1967. – С. 141 – 148.
2. Лысков Б.А., Свержевский В.Л. Изменение физико-механических свойств пород Красноармейского района Донбасса с увеличением глубины залегания // *Уголь Украины.* – 1965. – №6. – С. 15–16.
3. Свержевский В.Л., Положай Г.Т., Богодеров М.А. Физико-механические свойства пород на больших глубинах // *Уголь Украины.* – 1963.–№ 6. – С. 19–21.
4. Овчаренко Б.П., Шамаев М.П. О связи прочности пород с метаморфизмом // *Уголь Украины.* – 1964. – № 2.– С. 14–15.
5. Николин В.И., Лысиков Б.А., Ярембаш И.Ф. Выбросоопасные породы больших глубин. – Донецк: Донбасс, 1968. – 80 с.
6. Охрана капитальных выработок от влияния очистных работ / Ю.М. Басинский, В.Ф. Водянов, В.М. Кулешов и др. – Киев: Техніка, 1983. – 140 с.