

*Шабельников С.И.  
(Краснодонский факультет ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

**ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ПРОЧНОСТНЫМИ  
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ПЕСЧАНИКОВ  
УГЛЕНОСНОЙ ТОЛЩИ КРАСНОДОНСКОГО  
УГЛЕНОСНОГО РАЙОНА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ  
ЗОН ДРОБЛЕНИЯ ПОРОД**

*Стаття присвячена вивченню фізико – механічних властивостей піщаників вугленосної товщі Краснодонського геолого – промислового району, показана закономірність їх зміни з глибиною, а також придатність зон зниження міцностних властивостей піщаників до зон дроблення, що дозволяє прогнозувати порушеність вугленосної товщі та її інтенсивність з глибиною.*

**Ключові слова:** *фізико-механічні властивості, зони дроблення, міцностні властивості.*

*Статья посвящена изучению физико – механических свойств песчанников угленосной толщи Краснодонского геолого – промышленного района, показана закономерность их изменения с глубиной, а также приуроченность зон снижения прочностных свойств песчанников к зонам дробления, что позволяет прогнозировать нарушенность угленосной толщи и ее интенсивность с глубиной.*

**Ключевые слова:** *физико-механические свойства, зоны дробления, прочностные характеристики песчанников.*

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Увеличение точности и надежности прогноза горно-геологических условий разработки угольных пластов можно достичь за счет нового подхода, который базируется на использовании данных о региональных закономерностях и локальных особенностях изменения этих условий с глубиной и по площади. Основой этих сведений является представление о формировании современной структуры бассейна, которое происходит в результате действия геодинамических процессов и разных сил, среди которых особенную роль играют тектонические. Типы и характер тектонических сил определяют:

- условия осадконакопления и преобразования осадочной толщи;

- генезис тектонических нарушений и региональные закономерности расположения их в пределах бассейна;
- напряженное состояние массива;
- газоносность и выбросоопасность.

Следовательно, существует актуальная научная и прикладная проблема, связанная с исследованием:

- региональных закономерностей и локальных особенностей расположения и генезиса тектонических нарушений разных типов в осадочной толще Донбасса и Краснодонского угленосного района, в частности;
- тектонических сил и процессов, формирующих эти тектонические нарушения;
- прогноза горно-геологических условий разработки угольных пластов.

Одним из ярких показателей в области исследования данных о региональных закономерностях и локальных особенностях изменения горно-геологических условий разработки угольных пластов с глубиной являются прочностные характеристики вмещающих горных пород, а именно песчаников, наиболее жестко реагирующих на силовые воздействия.

**Анализ последних публикаций.** В настоящее время достаточно хорошо изучены связи физико-механических свойств горных пород с их вещественно-петрографическим составом, структурой и текстурой, степенью их катагенетических изменений [1,2]. В некоторых случаях изменение прочностных свойств горных пород с глубиной изучалось в условиях действующих горных выработок [3], проведение которых вызывает перераспределение напряжений в массиве и влечет за собой изменение прочностных характеристик горных пород, что в значительной степени отличает их от свойств горных пород, пребывающих в естественном состоянии. Кроме того, авторы пришли к выводу об упрочнении вмещающих пород с глубиной в 1,2 – 1,5 раза при перепаде глубин порядка 700 м, а снижение коэффициента крепости на глубине 517 м в 1,2 – 1,4 раза объяснили разбросом данных в точке определения. Хотя, надо отдать должное этим авторам, установившим, что нарушенность пород у завала больше чем у забоя. В результате чего крепость пород в пределах призабойного пространства от забоя к завалу уменьшается примерно на 30%. То есть, причиной уменьшения крепости горных пород, по мнению авторов, следует считать их нарушенность, образовавшуюся за счет упруго-пластического перемещения.

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.

Исследования [4] показали, что возрастание прочностных свойств горных пород с глубиной подчиняется гиперболической зависимости, отвечающей свойствам асимптотической функции. Однако, авторы оставили за собой право исключить из анализа объекты, по которым приведенные в исходной документации физико-механические свойства горных пород вызывали, на их взгляд, сомнения.

Кроме того, в процессе проведения исследований, не было уделено должного внимания изучению взаимосвязи между участками снижения прочностных свойств горных пород и зонами тектонических нарушений (зонами дробления) угленосной толщи. А по Краснодонскому угленосному району такие исследования до настоящего времени не проводились.

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

Основная цель настоящей работы заключается в установлении взаимосвязи между прочностными характеристиками песчаников угленосной толщи Краснодонского угленосного района и распределением зон дробления (дефектов плотности) горных пород по данным геолого-разведочных скважин.

Оценка прочностных характеристик песчаников угленосной толщи Краснодонского угленосного района производилась по данным ста восьмидесяти трех геологоразведочных скважин, пробуренных в процессе разведки и доразведки месторождений угля на территории шести шахт производственного объединения «Красноднуголь»: им. Н.П.Баракова, «Ореховская», «Молодогвардейская», «Самсоновская-Западная», «Дуванная», «Суходольская-Восточная». Всего было исследовано одна тысяча семь образцов песчаников в интервалах глубин от 100 до 1500 метров.

Глубины опробования разбивались на стометровые интервалы, в пределах которых рассчитывались средние значения по следующим показателям физико-механических свойств песчаников:

- одноосное сжатие;
- предел прочности на разрыв;
- плотность;

- водопроницаемость;
- пористость.

**Представление основного материала исследования.**

Результаты исследований прочностных характеристик песчаников в пределах четырнадцати стометровых интервалов по данным геолого-разведочных скважин сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Физико-механические свойства песчаников по данным геологоразведочных скважин (средние значения)

Интервал глубин м	Предел прочности на сжатие, МПа		Предел прочности на разрыв, МПа		Действит. плотн. г/см <sup>3</sup>	Кажущ. плотн. г/см <sup>3</sup>	Водопроницаемость	Пористость, %
	В естеств.	В водо- насыщ	⊥					
2	3	4	5	6	7	8	9	10
100–200	78,10	54,46	7,48	9,66	2,5	2,7	1,2	4,9
200–300	74,23	48,46	3,37	7,70	2,0	2,5	0,9	6,0
300–400	91,03	57,09	11,77	9,49	2,3	2,5	1,7	4,8
400–500	86,36	58,70	8,01	7,40	2,7	2,6	0,0	5,7
500–600	85,79	64,90	7,44	8,04	2,6	2,6	0,8	5,7
600–700	86,60	54,86	9,42	7,48	2,4	2,5	0,3	5,4
700–800	100,27	62,58	19,05	6,02	2,5	2,5	1,1	5,4
800–900	95,39	63,15	7,42	7,81	2,4	2,3	1,7	4,6
900–1000	90,71	63,62	7,97	6,73	2,4	2,3	0,5	4,8
1000–1100	89,14	58,16	7,46	4,08	2,2	2,1	0,0	5,4
1100–1200	89,60	72,94	8,50	5,33	2,5	2,4	0,0	5,2
1200–1300	54,78	48,11	0	0	2,7	2,6	0,0	4,9
1300–1400	47,96	21,46	0	0	2,7	2,6	0,0	4,5
1400–1500	60,06	42,75	0	0	2,8	2,7	0,0	3,0

Накопленные данные позволили провести анализ изменения физико-механических свойств песчаников, в частности предела прочности на одноосное сжатие, по мере увеличения глубины их залегания, который является одним из определяющих факторов для выполнения большинства расчетов, применяемых в горном деле.

В результате анализа было установлено, что в пределах исследуемой толщи горных пород изменение предела прочности песчаников с

глубиной не подчиняется ни линейной [3], ни гиперболической [4] зависимости.

Снижение значений предела прочности на одноосное сжатие приходится на интервалы глубин 200 – 300м, 500 – 700м, 900 – 1100м и 1200 – 1400м.

Полученные данные подтверждают информацию о четырех зонах усилий, деформирующих угленосную толщу горных пород Краснодонского угленосного района [5,6], приходящихся на интервалы глубин 200 – 400м, 500 – 700м, 900 – 1000м и 1200 – 1300м. График изменения суммарной мощности зон дробления с глубиной по данным геологоразведочных скважин Краснодонского угленосного района представлен на рисунке 1.

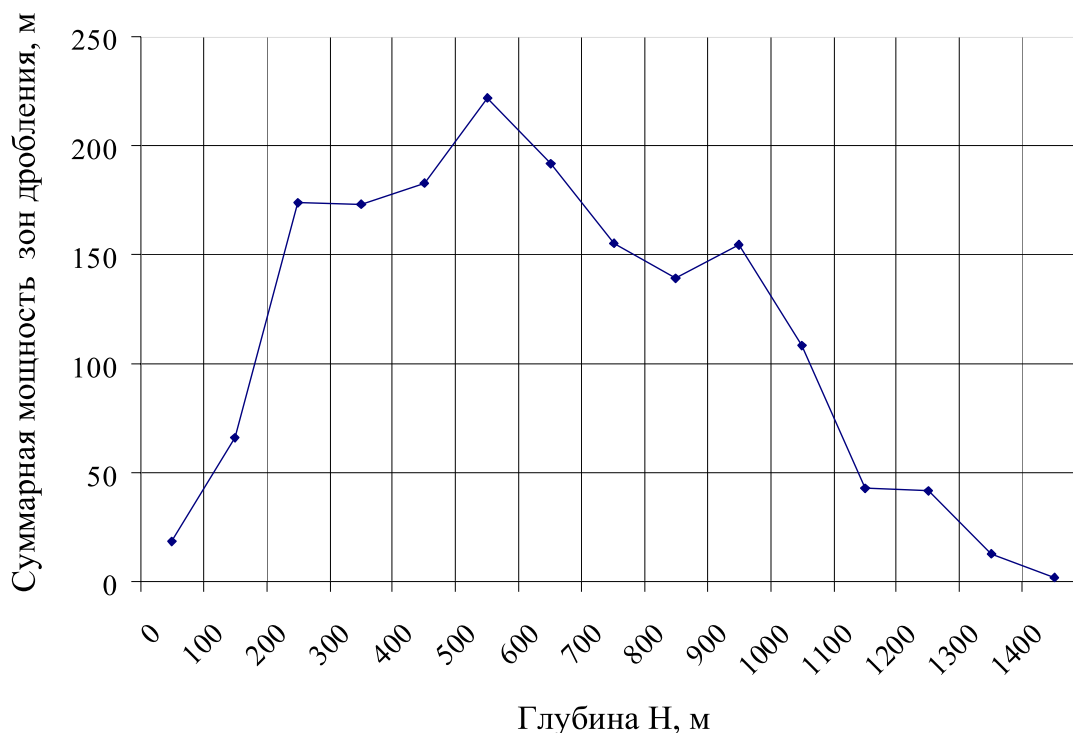


Рисунок 1 – График изменения суммарной мощности зон дробления с глубиной по данным геологоразведочных скважин

Интервалы глубин, в пределах которых наблюдается снижение предела прочности песчаников, приурочены к зонам тектонической активности (зонам дробления). Снижение предела прочности песчаников соответствует максимумам суммарной мощности зон дробления. Более широкий диапазон глубин, где наблюдается снижение предела прочности песчаников, объясняется изменением целостности, а следовательно и прочности, горных пород в зонах, прилегающих к местам приложения разрушающих усилий.

Изучая корреляционные зависимости прочностных свойств песчаников от глубины их залегания, с использованием программы «Excel», было установлено, что наибольшую достоверность аппроксимации ( $R^2=0,7163$ ) для Краснодонского угленосного района имеет полиномиальная зависимость, описываемая уравнением регрессии, которое имеет вид:

$$\sigma = -7.486 \cdot 10^{-5} H^2 + 0.1H + 59.09, \quad (1)$$

где  $H$  – глубина залегания песчаников, м;

$\sigma$  – предел прочности песчаников на одноосное сжатие, МПа.

Параметры оценки уравнения (1):

коэффициент детерминации  $R^2 = 0.7163$ ;

критерий Фишера  $F = 13,89$ ;

значимость критерия Фишера  $\alpha = 0,00098$ .

Графики эмпирической и регрессионных зависимостей прочностных свойств песчаников от глубины приведены на рисунке 2.

Полиномиальная зависимость имеет наибольшую достоверность аппроксимации для регрессионных зависимостей всех прочностных характеристик песчаников, приведенных в таблице 1, в том числе для пористости и действительной плотности песчаников. Эти зависимости представлены следующими формулами:

для предела прочности в водонасыщенном состоянии

$$\sigma_{\text{с}} = -5,15 \cdot 10^{-5} H^2 + 0,0728H + 38,17, \quad (2)$$

где  $H$  – глубина залегания песчаников, м;

$\sigma_{\text{с}}$  – предел прочности песчаников на сжатие в водонасыщенном состоянии, МПа.

Параметры оценки уравнения (2):

коэффициент детерминации  $R^2 = 0.4888$ ;

критерий Фишера  $F = 5,25$ ;

значимость критерия Фишера  $\alpha = 0,025$ ;

для предела прочности на разрыв перпендикулярно напластованию:

$$\sigma_{\perp} = -2,037 \cdot 10^{-5} H^2 + 0,027H + 1,71, \quad (3)$$

где  $H$  – глубина залегания песчаников, м;

$\sigma_{\perp}$  – предел прочности песчаников на разрыв перпендикулярно напластованию, МПа.

Параметры оценки уравнения (3):

коэффициент детерминации  $R^2 = 0.5635$ ;

критерий Фишера  $F = 7,1$ ;  
 значимость критерия Фишера  $\alpha = 0,01$ ;

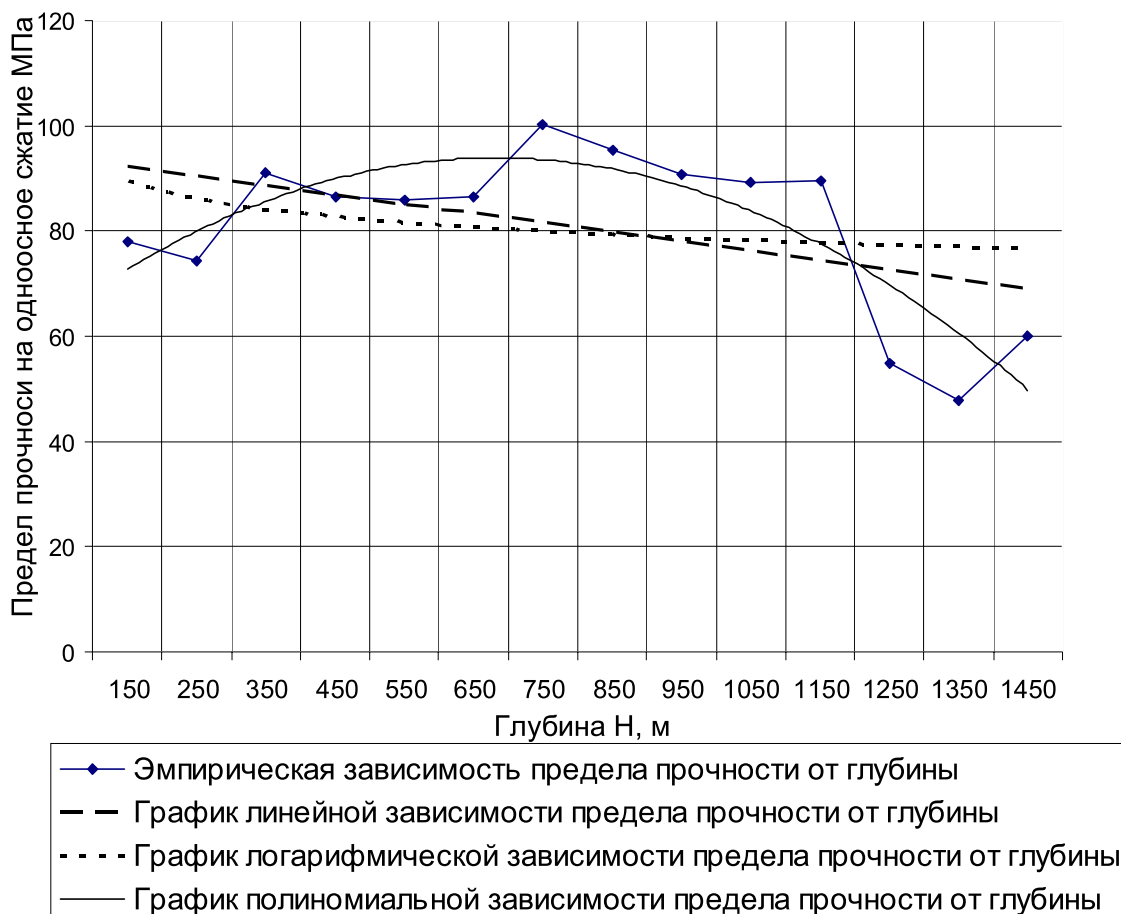


Рисунок 2 – Графики эмпирической и регрессионных зависимостей прочностных свойств песчаников от глубины

для предела прочности на разрыв параллельно напластованию:

$$\sigma_{||} = -6,7 \cdot 10^{-6} H^2 + 0,003H + 8,3, \quad (4)$$

где  $H$  – глубина залегания песчаников, м;

$\sigma_{||}$  – предел прочности песчаников на разрыв параллельно напластованию, МПа.

Параметры оценки уравнения (4):

коэффициент детерминации  $R^2 = 0.879$ ;

критерий Фишера  $F = 39,96$ ;

значимость критерия Фишера  $\alpha = 9,02 \cdot 10^{-6}$ ;

для действительной плотности:

$$\gamma_{д.пл.} = 3,16 \cdot 10^{-7} H^2 - 2,48 \cdot 10^{-4} H + 2,42, \quad (5)$$

где  $H$  – глубина залегания песчаников, м;

$\gamma_{д.пл.}$  – действительная плотность песчаников, г/см<sup>3</sup>.

Параметры оценки уравнения (5):

коэффициент детерминации  $R^2 = 0.2878$ ;

критерий Фишера  $F = 2,22$ ;

значимость критерия Фишера  $\alpha = 0,15$ ;

для кажущейся плотности:

$$\gamma_{каж.пл.} = 7,28 \cdot 10^{-7} H^2 - 0,001H + 2,89, \quad (6)$$

где  $H$  – глубина залегания песчаников, м;

$\gamma_{каж.пл.}$  – кажущаяся плотность песчаников, г/см<sup>3</sup>.

Параметры оценки уравнения (6):

коэффициент детерминации  $R^2 = 0.4396$ ;

критерий Фишера  $F = 4,32$ ;

значимость критерия Фишера  $\alpha = 0,04$ ;

для пористости:

$$V_n = -2.273 \cdot 10^{-6} H^2 - 0,0026H + 4.78, \quad (7)$$

где  $H$  – глубина залегания песчаников, м;

$V_n$  – пористость песчаников, %.

Параметры оценки уравнения (7):

коэффициент детерминации  $R^2 = 0.5749$ ;

коэффициент Фишера  $F = 7,44$ ;

значимость Фишера  $\alpha = 0,009$ .

Однако, используя теоретические значения корреляционных зависимостей прочностных характеристик песчаников от глубины их залегания, нельзя игнорировать фактические значения этих показателей, так как минимальные значения прочности песчаников соответствуют максимальным значениям суммарной мощности зон дробления (дефектов плотности) горных пород, вмещающих угольные пласты Краснодарского угленосного района. Уравнение аппроксимации полиномиальной корреляционной зависимости суммарной мощности зон дробления (дефектов плотности) от глубины их положения имеет вид:



$$M_{3,др.} = -0,00029 \cdot H^2 - 0,3479H + 75,33, \quad (8)$$

где  $H$  – глубина залегания песчаников, м;  
 $M_{3,др.}$  – мощность зоны дробления пород, м.  
 Параметры оценки уравнения (8):  
 коэффициент детерминации  $R^2 = 0.8425$ ;  
 критерий Фишера  $F = 29,42$ ;  
 значимость критерия Фишера  $\alpha = 3,85 \cdot 10^{-5}$ .

Зависимость предела прочности песчаников на одноосное сжатие в естественном состоянии от глубины их залегания и мощности зон дробления  $\sigma = f(H, M)$  выглядит следующим образом:

$$\sigma = -0,0976M_{3,др.} - 0,0001H^2 + 0,14H + 66,44, \quad (9)$$

где  $H$  – глубина залегания песчаников, м;  
 $\sigma$  – предел прочности песчаников на одноосное сжатие, МПа;  
 $M_{3,др.}$  – мощность зоны дробления пород, м.  
 Параметры оценки уравнения (9):  
 коэффициент детерминации  $R^2 = 0.7477$ ;  
 критерий Фишера  $F = 9,88$ ;  
 значимость критерия Фишера  $\alpha = 0,002$ .

Приуроченность к зонам тектонической активности (зонам дробления) зон изменения физико-механических свойств песчаников угленосной толщи Краснодонского угленосного района подтверждается данными, полученными при изучении зависимости действительной плотности и пористости песчаников от глубины залегания по данным геологоразведочных скважин. График зависимости действительной плотности и пористости песчаников от глубины залегания по данным геологоразведочных скважин представлен на рисунке 3.

На рисунке 3 видно, что зонам увеличения пористости соответствуют зоны снижения плотности песчаников. И зоны увеличения пористости и зоны снижения плотности песчаников совпадают с зонами глубин, где происходит снижение предела прочности песчаников и увеличение суммарной мощности зон дробления (тектонической нарушенности).

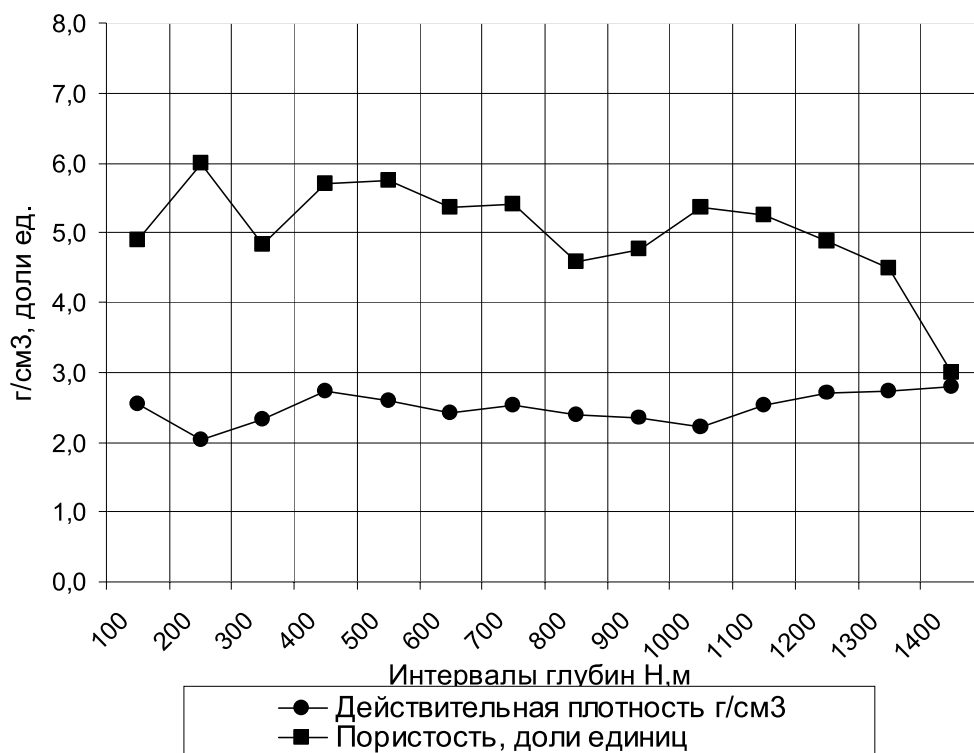


Рисунок 3 – График зависимости действительной плотности и пористости песчаников от глубины залегания по данным геологоразведочных скважин

**Выводы.** В процессе исследования взаимосвязи между прочностными характеристиками песчаников угленосной толщи Краснодарского угленосного района и распределением зон дробления горных пород по данным геологоразведочных скважин было установлено следующее:

- совокупность случайных величин, которыми являются прочностные характеристики песчаников, в частности предел прочности на одноосное сжатие, имеет четыре пика снижения значений;
- каждый пик снижения фактических значений предела прочности песчаников приурочен к одной из четырех зон тектонических усилий, деформирующих угленосную толщу горных пород Краснодарского угленосного района, приходящихся на интервалы глубин 200 – 400м, 500 – 700м, 900 – 1000м и 1200 – 1300м;
- предел прочности песчаников Краснодарского угленосного района изменяется с глубиной их залегания по полиномиальной зависимости;
- снижение значений предела прочности песчаников на одноосное сжатие практически совпадает с зонами тектонических усилий;

- предел прочности песчаников Краснодонского угленосного района зависит от глубины их залегания и мощности зон дробления (дефектов плотности) пород.

### **Библиографический список**

1. Глушко В.Т. Зависимость прочности горных пород от геологических и петрографических факторов / В.Т. Глушко, В.Л. Сверхевский // *Механика горных пород и охрана выработок.* – К.: Наукова думка, 1967. – С. 141 – 148.
2. Лыиков Б.А. Изменение физико-механических свойств пород Красноармейского района Донбасса с увеличением глубины залегания факторов / Б.А. Лыиков, В.Л. Сверхевский // *Уголь Украины, 1965.- №6.* – С. 15 – 16.
3. Янчур А.М. К вопросу определения свойств пород в массиве на разных глубинах / А.М. Янчур, Б.А. Лыиков // *Разработка месторождений полезных ископаемых : Республиканский межведомственный научно-технический сборник.* – Киев, 1968. – С. 50 – 53.
4. Феофанов А.Н. Распределение прочностных характеристик горных пород от глубины их залегания / А.Н. Феофанов, А.М. Терлецкий // *Наукові праці УкрНДМІ НАН України.* - 2008. - № 2. – С. 184 – 191.
5. Шабельников С.И. Особенности малоамплитудной тектоники Краснодонского угленосного района / С.И. Шабельников // *Сборник научных трудов ДонГТУ.* – Алчевск, 2009. - Вып.29. – С. 243 – 253.
6. Шабельников С.И. Оценка степени изменения тектонической нарушенности горных пород Краснодонского угленосного района по данным геологоразведочных скважин / С.И. Шабельников // *Сборник научных трудов ДонГТУ.* – Алчевск, 2009. - Вып.31. – С. 69 – 78 .

*Рекомендовано к печати д.т.н., проф. Клишиным Н.К.*