

УДК 622.236:02.23

ПРОЧНОСТЬ ПОРОД ПРИ УВЛАЖНЕНИИ НА РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ МЕТАМОРФИЗМА

Феофанов А. Н.

(УкрНИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

Наведено кількісну оцінку змін міцнісних властивостей порід при зволоженні залежно від глибини залягання і міри метаморфізму. Визначено їхні особливості та практичне застосування.

Quantitative estimation of variations in strength properties of rocks being watered depending on the occurrence depth and metamorphic grade is given. Their characteristics and use in practice are specified.

Изучение прочностных свойств пород, вмещающих угли, имеет большое значение с точки зрения поведения (смещения) пород в горных выработках. Данные об их временном сопротивлении сжатию и растяжению являются основой для составления паспорта прочности породы и определения коэффициента Протодьяконова. Практическая ценность результатов подобных исследований многообразна, но в первую очередь заключается в разработке рациональных способов проведения, поддержания и охраны горных выработок в условиях меняющейся горно-геологической и гидрогеологической ситуации.

Не учитывать этого обстоятельства нельзя, так как с одной стороны даже в сравнительно слабообводнённом Донецком бассейне в шахтах нередко встречаются участки с довольно обильным естественным поступлением воды, а с другой стороны в связи с закрытием большого количества шахт целые породные массивы переходят из естественного состояния в затопленное. При

этом граничащие с ними действующие предприятия интенсивно обводняются за счёт дополнительного водопритока.

Очевидно, что в таких случаях крепь выработок, рассчитанная на первоначально установленную прочность пород, не соответствует меняющейся гидрогеологии массива, что отражается на устойчивости выработок, в целом осложняет геомеханическую обстановку и снижает эксплуатационную безопасность такого участка.

В последнее время в разработку вовлечена и интенсивно разрабатывается приповерхностная часть карбоновой толщи. Причём не только старыми «дедовскими» способами – копанками, но и столбами по простиранию с привлечением современных механизированных комплексов, провоцируя тем самым процессы провалообразования на земной поверхности. Породный массив на выходах угольных пластов под наносы, попадающий в зону выветривания, многократно подработанный и изрезанный заброшенными горными выработками, существенно отличается по своим прочностным свойствам от основной карбоновой толщи. И, следовательно, его обводнение будет отличительным образом сказываться на устойчивости.

Независимо от того, в какой части карбоновой толщи планируется отработка угля, проектировщика и эксплуатационника в первую очередь интересует один вопрос: насколько потеряют свои прочностные свойства окружающие выработку породы в случае их обводнения.

Известно, что прочность пород массива определяется степенью метаморфизма угольных пластов или катагенезом породных слоёв, вмещающих эти пласты. И если изменения прочностных свойств пород Донбасса в зависимости от степени метаморфизма изучены достаточно хорошо, то вопрос потери прочности при их увлажнении (водонасыщении) остаётся открытым.

Подобные данные, например [1], полученные в своё время для пород неветреной части карбона, показали, что приблизительно потеря прочности при водонасыщении у аргиллитов и алевролитов составляет 18–35 %, у песчаников 12–22 %, а у известняков 5–15 %. Однако они носят обобщающий характер и не

учитывают влияющей роли метаморфизма на формирование прочностных свойств карбоновой толщи.

Ещё один важный фактор, определяющий прочность пород, это глубина. Исследования [2, 3] 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 заслуживают внимания 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 различной 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 залегания предложена в линейном виде, что не может быть объяснено с физической точки зрения, так как прочность пород имеет свой предел, да и параметры установленных различными авторами закономерностей существенно отличаются.

Как следует из работы [4], 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. И это возрастание подчиняется гиперболической зависимости, отвечающей свойствам асимптотической функции (рис. 1).

В область исследования не включена зона выветренных пород, которая уменьшается с возрастанием степени метаморфизма и по данным треста «Артёмгеология» [5] распространяется для пород с марками углей Д и Г до глубины 180 м, ГЖ и К – до глубины 70–80 м, ОС, Т, ПА, А – до глубины 40 м. Исследования проведены до глубины 1400 м.

Учитывая вышесказанное, логично исследовать изменение прочностных свойств пород при увлажнении на различных стадиях метаморфизма отдельно для двух условно выделенных глубинных интервалов, а именно:

- основная карбоновая толща (более 180 м);
- приповерхностная зона или зона активного выветривания (0–180 м).

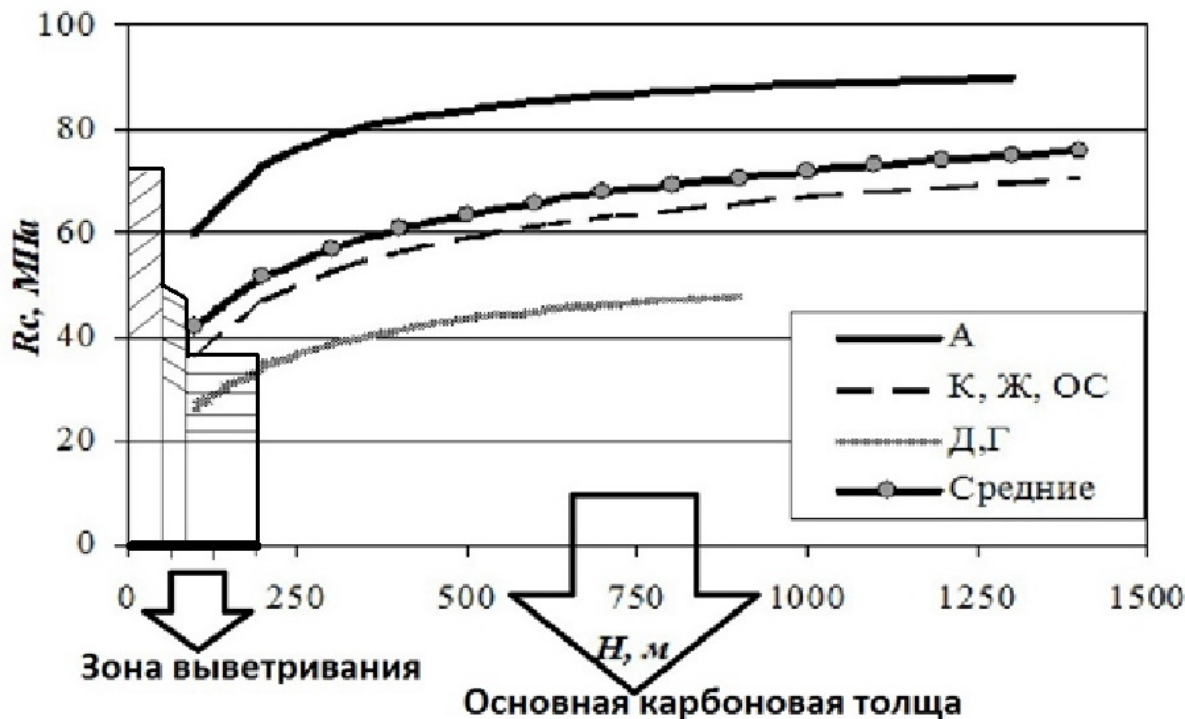


Рис. 1. Распределения прочностных свойств по глубине при различной степени метаморфизма по [4]

Основная карбоновая толща

В своё время в тресте «Артёмгеология» методом соосных пуансонов определялись прочностные свойства на всех разновидностях пород, вмещающих угли в Донецком бассейне на более 100000 образцах. Это дало возможность проследить изменение прочностных свойств породных слоёв при переходе из сухого состояния во влажное.

В таблице 1 приведены средние статистические данные о потере прочности породами на различных стадиях метаморфизма углей. На рисунках 2 и 3 – графики таких изменений.

Таблица 1

Изменение величины временного сопротивления сжатию пород
 после насыщения в шахтной воде

Наименование и краткая характеристика пород	Потеря прочности, %									
	Д + Д-Г	Г ₆	Г ₁₆	Ж ₁₃ – Ж ₂₁	КЖ – К ₁₄	ОС ₆ – ОС	Т	ПА	А ₁	А ₂
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
АРГИЛЛИТЫ										
горизонтально слоистый	100	80	50	31	26	20	15	12	8	7
неслоистый	99	98	35	28	25	20	15	11	7	7
с 7–10 % карбоната, неслоистый	56	50	35	21	18	12	10	8	5	5
АЛЕВРОЛИТЫ										
мелкозернистый, "кучерявичик"	100	90	70	35	23	21	18	15	11	10
горизонтально слоистый с базальным глинистым цементом	75	65	50	24	20	17	12	10	8	8
с глинисто-карбонатным цементом базального типа	46	40	24	20	18	16	10	8	6	5
ПЕСЧАНИКИ										
мелкозернистый с базальным глинистым цементом	70	54	40	22	20	15	12	10	8	7
мелкозернистый с базальным глинисто-карбонатным цементом	50	45	23	17	14	14	7	6	5	4
среднезернистый с глинистым цементом контактно-порового и частично сгусткового типа	65	55	40	20	18	13	8	6	5	5
среднезернистый с контактно-поровым глинисто-карбонатным цементом	40	35	20	15	12	5	3	3	3	3
ИЗВЕСТНЯКИ										
глинистый (до 20 % глинистого материала)	25	21	20	16	14	12	10	8	7	6
органогенно-детритусовый и пелитоморфный	7	6	5	5	5	4	4	3	3	2

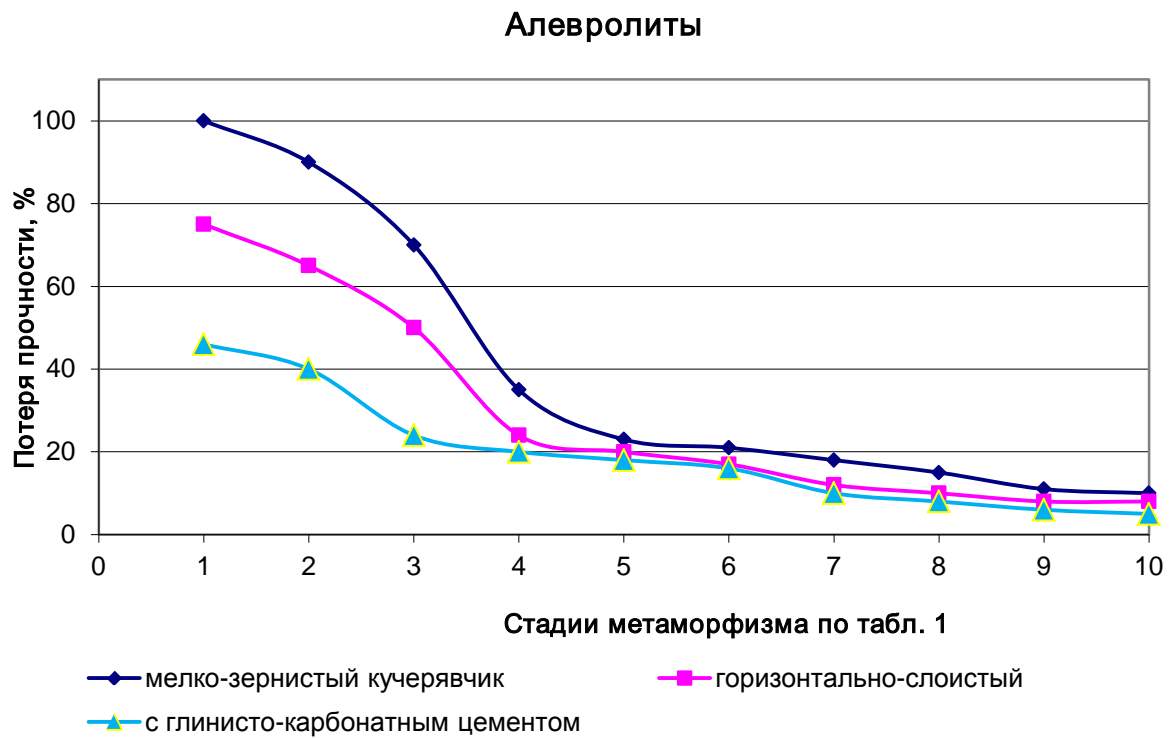
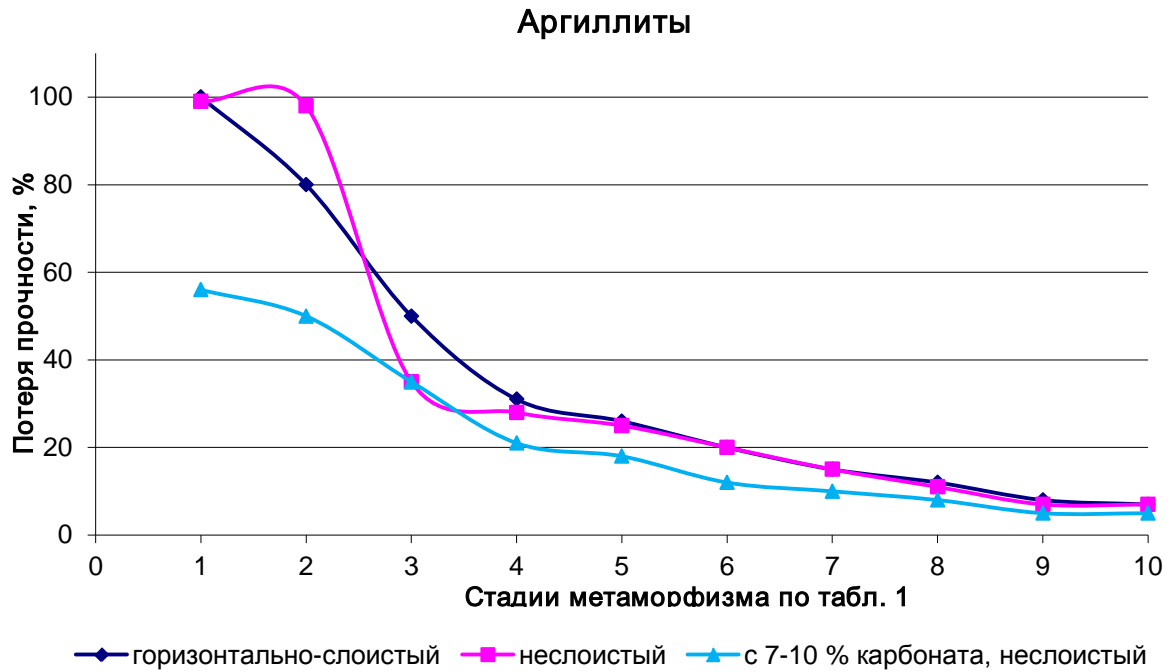


Рис. 2. Графическое представление потери прочности аргиллитов и алевролитов при увлажнении на различных стадиях метаморфизма

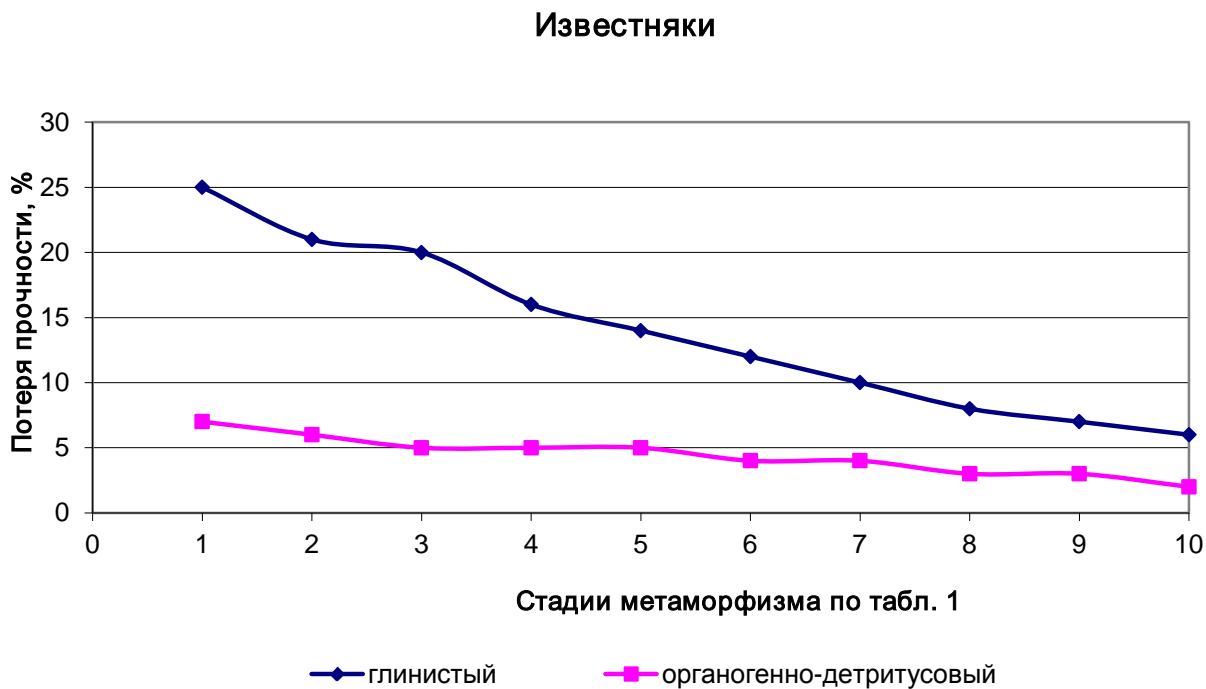
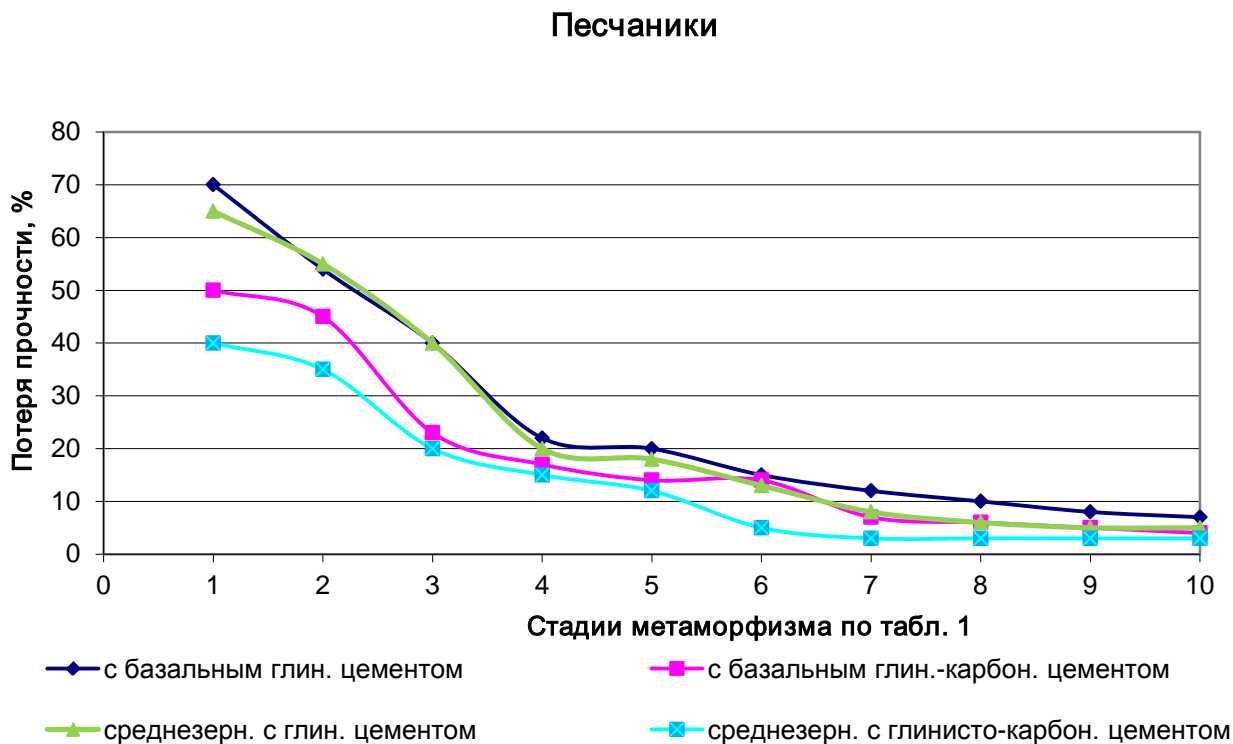


Рис. 3. Графическое представление потери прочности песчаников и известняков при увлажнении на различных стадиях метаморфизма

Они наглядно свидетельствуют, что все породы, включая и карбонатные, испытывают определённое размягчение после пребывания в шахтной воде в течение 5 суток (полное насыщение водой пород всех генетических типов).

Анализ представленных данных показывает, что:

1. При переходе от ранней стадии метаморфизма к более поздней для всех литологических разновидностей характерно уменьшение потери прочности. Например, на ранних стадиях метаморфизма углей Д+Д–Г глинистые породы (аргиллиты) после размочивания испытывают наибольшую потерю прочности (от 56 % до 100 %) в зависимости от своей структурной разновидности. А на поздней стадии метаморфизма углей А₂ эта потеря не превышает 5–7 %.

2. Неравномерность в потере прочности при увлажнении прослеживается как на стадиях метаморфизма любой отдельно взятой литологии, так и между самими литологиями. А именно, чем прочнее порода, тем меньше она теряет свою прочность при увлажнении на любой стадии метаморфизма по сравнению с менее прочной породой. Например, известняк, как более крепкий по отношению к вышеупомянутому аргиллиту на стадии метаморфизма углей Д+Д–Г при увлажнении теряет от 7 до 25 % своей прочности, а уже на поздней стадии метаморфизма углей А₂ прочность известняка практически не меняется: этот показатель составляет всего 2–6 %.

Приповерхностная зона

Располагающиеся в этой зоне породы, как правило, разуплотнены, обладают повышенной пористостью, трещиноватостью и из-за постоянного воздействия процесса выветривания имеют низкие прочностные свойства. Нисходящий порядок отработки угольных пластов, начиная с выходов под наносы, малая глубина и, как следствие, небольшое горное давление, повсеместное оставление целиков обусловили сохранность пустот в старых горных выработках на малых глубинах и породили тем самым проблему провалообразования подработанных в этой зоне угольных территорий. В большинстве своём такие процессы провоцируются меняющимися гидрогеологическими условиями при-

поверхностной зоны (затопление или осушение породного массива) [6, 7].

Так как массив горных пород над старыми выработками либо полностью располагается в зоне выветривания, либо примыкает к ней, то для оценки устойчивости выработок (пустот) и возможности их активизации необходимо, прежде всего, знать свойства пород. К сожалению, в настоящее время отсутствуют достоверные данные об изменении прочностных свойств пород приповерхностной зоны (зоны выветривания), тем более при их увлажнении, т. к. детальное изучение свойств пород в этой зоне практически не выполнялось.

Частичное решение этого вопроса представлено в работе [8], где выполнен анализ прочностных свойств пород в верхней части карбона, их изменение с глубиной при увлажнении массива, включающего, в основном, пласты марки углей К. Для этих целей использовались материалы исследований вдоль трассы строительства Донецкого метрополитена в Пролетарском, Буденновском, Калининском и Ворошиловском районах. Буровые работы и лабораторные исследования физико-механических свойств пород выполнялись Донецким филиалом УкрвостокГИИНТИЗа в 1987-90 годах. Всего было пробурена 21 скважина и исследовано 516 образцов. Участок исследований характеризуется пологим залеганием пород (10° – 18°). Отложения карбона, перекрыты наносами мощностью от 2,5 до 15–20 м. Интервалы глубин, с которых были отобраны образцы для определения физико-механических свойств, составляют от 5 до 87 м. Таким образом, исследована практически вся зона выветривания (табл. 2).

Анализ изменения прочностных свойств приповерхностного массива, включающего угли марки К показал:

1. При водонасыщении наибольшая потеря прочности наблюдается у глинистых пород, которая составляет от 40 до 70 %.

2. У песчаников потеря прочности при увлажнении меньше (от 15 до 38 %) и зависит от степени выветрелости и трещиноватости. Прочность песчаников в диапазоне глубин от 5 до 70 м практически не зависит от глубины как для образцов в сухом, так и в водонасыщенном состоянии.

3. Потеря прочности известняков при переходе из сухого состояния во влажное минимальна (12 %).

4. Уменьшение прочностных свойств с глубиной (до 26 %) отмечается у слабыветрелых аргиллитов и алевролитов, известняков и пород зон тектонических нарушений (коэффициенты корреляции в этих случаях составляют 0,25–0,42).

Таблица 2

Результаты исследований прочности пород зоны выветривания
(угли марки К)

Наименование и характеристика пород	Интервал глубин, м	Потеря прочности при увлажнении, %
Аргиллиты тонкослоистые, сильнотрещиноватые, сильновыветрелые	5–75	67
Аргиллиты, алевролиты выветрелые, трещиноватые	10–73	61
Алевролиты слабыветрелые	9–72	42
Песчаники мелкозернистые, трещиноватые, сильновыветрелые	8–68	38
Песчаники мелкозернистые, трещиноватые	5–67	22
Песчаники мелкозернистые, слабыветрелые	12–87	15
Известняки серые, трещиноватые	18–51	12
Алевролиты, аргиллиты, песчаники в зонах тектонических нарушений	7–75	26

Определённую ценность представляют материалы, полученные группой шахтной геологии треста «Артёмгеология», включающие не только всевозможные инструментальные замеры сдвижения и обрушения пород в горных выработках, но и документацию этих явлений с помощью стереофотографий. Одновременно группа вела исследования керна скважин, расположенных на расстоянии от 200–500 м до 2–2,5 км от действующей выработки с целью получения коэффициента устойчивости пород кровли в горных выработках по результатам разведки.

В ходе детального анализа удалось отобрать данные, позволяющие судить о потере прочностных свойств основных литологических разностей Донбасса на глубинах до 180 м, приуроченных к зонам метаморфизма углей марки Г (табл. 3).

Таблица 3

Результаты исследований прочности пород зоны выветривания
(угли марки Г)

Наименование и краткая характеристика пород	Глубина, м	Потеря прочности при увлажнении, %	
		Г ₆	Г ₁₆
АРГИЛЛИТЫ			
Неслоистые	124–165	26–49	24–32
Слабослоистые	150–156	21–25	–
Слоистые	142	26	–
АЛЕВРОЛИТЫ			
Неслоистые	87–162	20–27	21–49
Неяснослоистые	136	44	51
С известково-глинистым цементом	87	24–27	–
Слоистые	170–186	–	29–38
ПЕСЧАНИКИ			
Мелкозернистые	70–158	20–28	15–24
Среднезернистые с глинистым цементом	80–82	16–23	–
Среднезернистые косослоистые	64–182	21	24
Неяснослоистые	70–150	23	19
ИЗВЕСТНЯКИ			
	87–90	8–14	–

Как видно, сохраняется общая закономерность, отмеченная выше, а именно: более крепкие породы склонны к меньшей потере прочности при увлажнении, в отличие от менее прочных пород. Например, известняки, приуроченные к углям марки Г, при увлажнении могут потерять не более 14 % своей прочности. В то же время потеря прочности неслоистых аргиллитов достигает 49 %. То есть каждая литологическая разность при увлажнении теряет прочность в пределах, обусловленных её характеристиками и структурными особенностями (пористость, трещиноватость, слоистость, зернистость, наличие дополнительных включений и т. п.).

Последнее убедительно представлено в работе [10] на примере экспериментального определения прочности на одноосное сжатие образцов песчаника с включениями различных цементов в сухом и влажном (2,5–3 % увлажнение) состоянии. Отобранные образцы приурочены к Центральному Донбассу, ПО «Стахановуголь» (преимущественно угли марок К и Ж). Так, песчаники с кремнисто-слюдистым цементом теряют более 21 % прочности, песчаники с глинисто-слюдистым цементом – до 19 %, песчаники с карбонатным цементом – не более 4 %.

Выводы

1. Снижение прочностных свойств породного массива при увлажнении происходит неравномерно и зависит от литологической принадлежности и характеристики каждого слоя, глубины его залегания и степени метаморфизации углей. Эта величина даже для одной литологии, но крайних степеней метаморфизма может отличаться в десятки раз.

2. Полученные данные для приповерхностной зоны (зоны выветривания) могут быть использованы при оценке устойчивости сохранившихся пустот в старых горных выработках на малых глубинах, при определении уровней затопления закрывающихся шахт, а также при определении рисков, связанных с активизацией процессов сдвижения.

3. Для зоны выветривания этот вопрос исследован недостаточно (только угли марок Г и К). Перспективным направлением является получение количественных параметров для остальных степеней метаморфизма, что послужит хорошим подспорьем на стадии проектирования и эксплуатации.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Куликов А. В., Куликов В. В. Правильно устанавливать параметры системы этажного самообрушения. // Горный журнал. — 1954. — № 11. — С. 15—18.
2. Николин В. И., Лысиков Б. А., Ярембаш И. Ф. Выбросоопасные породы больших глубин. — Донецк : Донбасс, 1968. — 80 с.

3. Охрана капитальных выработок от влияния очистных работ / Ю. М. Басинский, В. Ф. Водянов, В. М. Кулешов и др. — Киев : Техніка, 1983. — 140 с.
4. Феофанов А. Н., Терлецкий А. М. Распределение прочностных характеристик горных пород от глубины их залегания. Наукові праці УкрНДМІ НАН України : зб. наук. пр. Донецьк, 2008. — № 2. — С. 184—191.
5. Свержевский В. Л., Положай Г. Т., Богодеров М. А. Физико-механические свойства пород на больших глубинах // Уголь Украины. — 1963. — № 6. — С. 19—21.
6. Феофанов А. Н. Влияние гидрогеологических условий на процесс активизации заброшенных выработок Уголь Украины. — 1995. — № 7. — С. 39—40.
7. Феофанов А. Н. Переоценка влияния факторов на процесс активизации провалообразований. Наукові праці УкрНДМІ НАН України : зб. наук. пр. Донецьк, 2009. — № 5. — С. 18—32.
8. Гавриленко Ю. Н., Ермаков В. Н., Феофанов А. Н. Прочность горных пород в зоне выветривания карбона // Наукові праці Донецького державного технічного університету, Серія гірничо-геологічна, вип. 45, Донецьк, ДонНТУ. — 2002. — С. 152—155.
9. Геологические основы прогноза поведения пород в горных выработках по разведочным данным. Малинин С. И. — М., изд-во «Недра», 1969. — 192 с.
10. Должиков П. Н. Анализ деформаций земной поверхности при гидроактивизации горных пород / П. Н. Должиков, Д. В. Корсаков // Сб. науч. трудов ДонГТУ № 32. — Алчевск : ДонГТУ, 2010. — С. 125—130.