

ОБОСНОВАНИЕ СОЗДАНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ БАЗЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТОВ «УГОЛЬ-ГАЗ-ВЛАГА»

Виктор Иванович Ростовцев

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 54, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории обогащения полезных ископаемых и технологической экологии, тел. (383)205-30-30, доп. 167, e-mail: benevikt@misd.ru

Олег Римович Кулагин

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 54, ведущий конструктор лаборатории обогащения полезных ископаемых и технологической экологии, тел. (383)205-30-30, доп. 706, e-mail: kb41@mail.ru

Борис Борисович Сиволап

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 54, ведущий инженер ЦКП ГГИ СО РАН, тел. (383)205-30-30, доп. 715, e-mail: bor.nsk.ru@mail.ru

Интенсивное освоение угольных месторождений за счет внедрения более производительной техники приводит к увеличению количества пожаро- и взрывоопасных ситуаций в шахтах в связи с газодинамическими явлениями. Средства массовой информации систематически сообщают нам о трагических событиях, связанных со взрывом в них горючих газов и массовой гибелью людей, которые происходят на угольных шахтах как в России, так и в сопредельных и зарубежных государствах. Основная тема – создание композита на основе твердых частиц угля и горных пород, газов (метана, водорода) и влаги, и проникновение в механизмы, инициирующие катастрофические динамические явления в процессе горных работ. Цель исследований: создание лабораторной базы для получения композитов «уголь-газ-влага» в виде угольных кернов, экспериментальное изучение их физико-механических свойств. Создан специальный стенд для получения и исследования композитов «уголь-газ-влага». Экспериментально на примере различных материалов (уголь, известняк, графит и др.) с использованием разработанного стенда получены зависимости изменения физико-механических свойств кернов от давления. На примере угля марки Д различной крупности установлены особенности изменения температуры, деформации брикетной массы, ее плотности при повышении давления до 200 МПа. Показано, что температура угольного брикета повышается максимум на 14 °С при атмосферном давлении и на 10 °С в вакууме. Стенд позволяет осуществлять физическое моделирование угля и горных пород с учетом их вещественного состава. Научная новизна заключается в создании композитов, имитирующих природный уголь и горные породы при заданных физико-механических условиях.

Ключевые слова: гидравлический стенд для получения композитов, физическое моделирование, изучение композитов «уголь-газ-влага» и горных пород, определяемые параметры брикетов: температура, плотность, деформация, работа сжатия.

JUSTIFIUNG OF CREATION OF LABARATORY FACILITIES FOR OBTAINING AND INVESTIGATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS «COAL-GAS-MOISTURE»

Victor I. Rostovtsev

Chinakal Institute of Mining SB RAS, Chinakal Institute of Mining SB RAS, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, D. Sc., Leading Researcher, Laboratory for Mineral Beneficiation and Technological Ecology, phone: (383)205-30-30, extension 167, e-mail: benevikt@mysd.ru

Oleg R. Kulagin

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, Design Project Leader, Laboratory for Mineral Beneficiation and Technological Ecology, phone: (383)205-30-30, extension 706, e-mail: kb41@mail.ru

Boris B. Sivolap

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, Leading Engineer, Geomechanical, Geophysical and Geodynamic Measurement Center for Shared Use SB RAS, phone: (383)205-30-30, extension 715, e-mail: bor.nsk.ru@mail.ru

Intensive development of coal deposits by means of implementation more productive machinery causes the increasing of fire and explosion hazardous situations in mines due to gas-dynamic effects. Mass media regularly reports about tragic events related to gas explosions and mass fatality in coal mines in Russia, neighboring and foreign states. General topic is the creation of composite material based on solid particle of coal and rocks, gases (methane and hydrogen) and moisture and study of mechanisms of initiating action of accident dynamic effects due to mining. Study objective is creation of laboratory facilities for obtaining composite materials “coal-gas-moisture” in the form of coal core-sample and experimental investigation of its physical and mechanical properties. Special stand is developed for obtaining and study of composite materials “coal-gas-moisture”. Dependences of changes of physical and mechanical properties of core-samples on pressure are obtained experimentally by the example of various materials (coal, limestone, graphite, etc.) using the developed stand. Features of change of temperature, deformation of briquette mass, density after pressure increasing up to 200 MPa are established by the example coal of D-make of different coarseness. It is shown that temperature of coal briquette increases maximum up to 14 °C at air pressure and up to 10 °C at vacuum. The stand allows to carry out physical simulation of coal and rocks considering its composition. Scientific novelty is the creation of composite materials imitating natural coal and rocks under specified physical and mechanical conditions.

Key words: hydraulic stand for composite materials obtaining, physical simulation, studying of composite material “coal-gas-moisture” and rocks, determined parameters of briquettes: temperature, density, deformation, work of compression.

Введение

Интенсивное освоение угольных месторождений за счет внедрения более производительной техники приводит к увеличению количества пожаро- и взрывоопасных ситуаций в шахтах в связи с газодинамическими явлениями. Средства массовой информации систематически сообщают нам о трагических событиях, связанных со взрывом в них горючих газов и массовой гибелью людей, которые происходят на угольных шахтах как в России, так и в сопредельных и зарубежных государствах.

Необходимо отметить, что 25 мая 1812 года в Англии на одной из угольных шахт произошел взрыв, унесший жизнь 92 человек. После этой катастрофы в городе Андерленде (Англия) было учреждено общество по предотвращению аварий на угольных шахтах, в котором плодотворно трудились известные ученые, такие как, например, сэр Хэмфри Дэви.

Ископаемый уголь представляет собой сложную дисперсную систему, включающую в себя три взаимно связанные макросоставляющие: органическую массу, влагу и минеральные компоненты. Для характеристики свойств конкретного угля необходимо учитывать роль каждой из трех составляющих его частей [1]. Важно рассмотрение и роли газовой фазы [2].

Изучение закономерностей изменения физико-механических свойств угля и выявление структурно-химических параметров, позволяющих корректно их описывать – одна из основных задач науки об угле. Решение этой задачи позволило бы научно обоснованно оценить качество угля с помощью необходимого и достаточного набора параметров, прогнозировать их пригодность для заданного технологического процесса, а также использовать физические и структурно-химические показатели углей для управления технологическими процессами их добычи и переработки.

Исследования в этом направлении были начаты еще в 50-е годы прошлого столетия Ван-Кревеленом и его сотрудниками [3]. Однако, несмотря на огромное количество публикаций по данному вопросу, на сегодняшний день отсутствует удовлетворительное решение. Кроме того, к сожалению, большинство этих работ посвящено решению частных задач, которые ограничиваются установлением корреляционных связей типа «черного ящика» без привлечения физических моделей.

Следовательно, одним из важных факторов создания структурной модели природного угля является формирование ее основы, представляющей собой композит «уголь-газ-влага». При этом уголь – твердая фаза органической массы и минеральных компонентов – представляет собой матрицу, армированную наполнителями в виде влаги и газов. Основа газовой фазы – метан.

Метан, образующийся в процессе метаморфизма угольного вещества, частично остается внутри угольной матрицы. Свободный метан находится в газообразном состоянии внутри открытых и закрытых пор. Некоторое количество метана сорбируется на внутренней поверхности пор угля, а также в микропорах, размер которых сравним с размером молекул. Часть метана растворяется в твердом угольном веществе. Однако законы сорбции и растворимости [4, 5], применяемые для описания газосодержания и газоотдачи природного угля, не могут в полной мере объяснить все природные явления, происходящие с метаном в угольных пластах при их разработке подземным способом. Примером этого может быть [4, 6] лавинообразное разложение метана, происходящее при внезапных выбросах угля и газа, а также аномально низкое выделение газа в пробуренные скважины при дегазации.

Цель исследований: создание лабораторной базы для получения композитов «уголь-газ-влага» в виде угольных кернов и экспериментального изучения

их физико-механических свойств. При этом важным является создание композитов, имитирующих природный уголь и горные породы при заданных физико-механических условиях, что позволит объяснить механизмы, инициирующие катастрофические динамические явления в процессе горных работ. Тем более, как показано в работах [7-10] реально работающего механизма образования взрывоопасной среды не существует, а существует несколько теорий (гипотез), отличающихся оценкой участия во внезапном выбросе угля и газа напряженно-деформированного состояния массива, а также физико-механических и физико-химических свойств угольного массива.

Методы и материалы

Изучение влияния качественного и количественного состава композита «уголь-газ-влага» на свойства модели угля является одним из направлений исследований, проводимых в ИГД СО РАН. Для достижения цели исследований спроектирован и изготовлен специальный гидравлический стенд для создания различных моделей композита (рис. 1). Он предназначен для выполнения исследований влияния физических параметров (влажности, фракционного и минерального составов твердой фазы, температуры, давления и др.) на формирование искусственных образцов композитов и изучения их механических и структурных свойств.

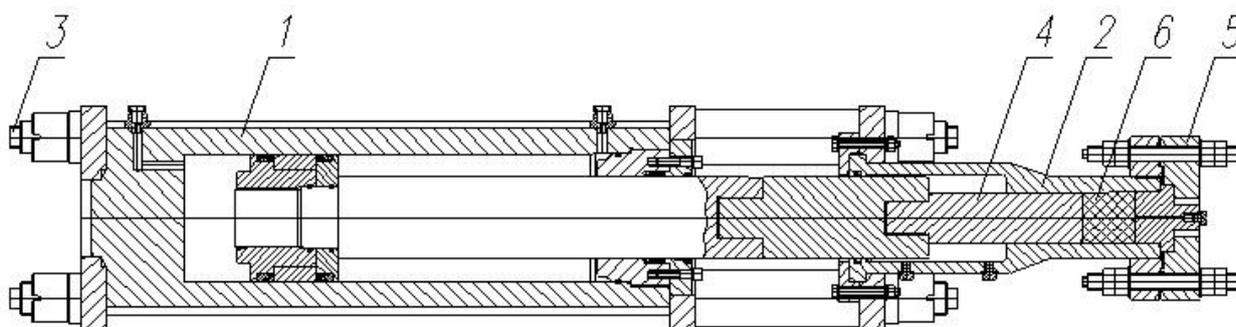


Рис. 1. Элемент гидравлического стенда для изучения композита «уголь-газ-влага»:

1 – силовой гидроцилиндр, 2 – камера высокого давления, 3 – соединительные шпильки, 4 – пуансон, 5 – съемный фланец, 6 – композитная матрица (брикет)

Стенд состоит из силового гидроцилиндра 1 и камеры высокого давления 2, соединенными между собой шпильками 3. В камере высокого давления расположен пуансон 4, приводимый в движение штоком силового гидроцилиндра. Композитная масса помещается в рабочую полость камеры высокого давления 2 и закрывается съемным фланцем 5. При рабочем ходе штока силового гидроцилиндра пуансон сжимает композитную массу, образуя композитную

матрицу в виде брикета 6. При снятом съемном фланце рабочим ходом штока пуансон выталкивает брикет из камеры высокого давления.

Важным этапом исследований являлось изучение температурного эффекта при создании угольной матрицы (угольного брикета) методом статического прессования. Измерение температуры при объемном сжатии проводилось на стенде, дополнительно оснащенном регулятором температуры РТ и вакуумным насосом ВН (рис. 2).

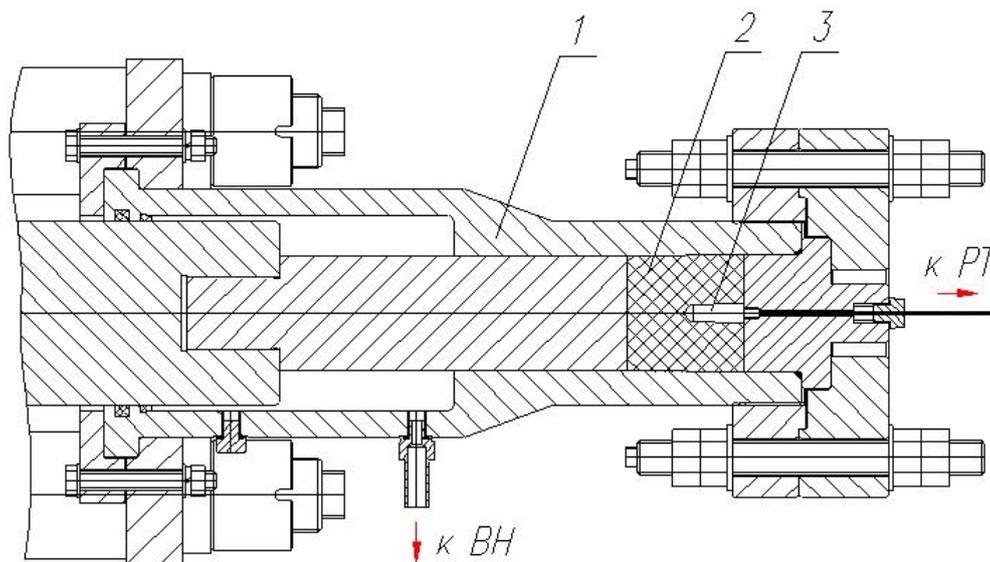


Рис. 2. Рабочая часть стенда:

1 – камера высокого давления, 2 – композитная матрица (брикет), 3 – оболочка силовая

Исходный материал определенной крупности, влажности и температуры загружался в камеру высокого давления, в которой осуществлялось объемное сжатие материала. По мере увеличения давления сжатия фиксировались значения давления сжатия, деформации брикетного образца и температуры в средней его части.

Фиксирование текущей температуры выполнялось регулятором температуры РТК-02. Температурный датчик смонтирован в силовой оболочке, рассчитанной на давление 250 МПа. По каналу температурный датчик соединен с регулятором температуры РТ. Поддержание необходимого давления в камере высокого давления (низкий вакуум, атмосферное или повышенное давление) осуществлялось вакуумным насосом ВН.

На рис. 3 приведен общий вид стенда для получения и исследования влияния качественного и количественного состава композита на свойства модели угля и горных пород (на переднем плане на этом рисунке показан полученный на стенде методом статического прессования угольный брикет).

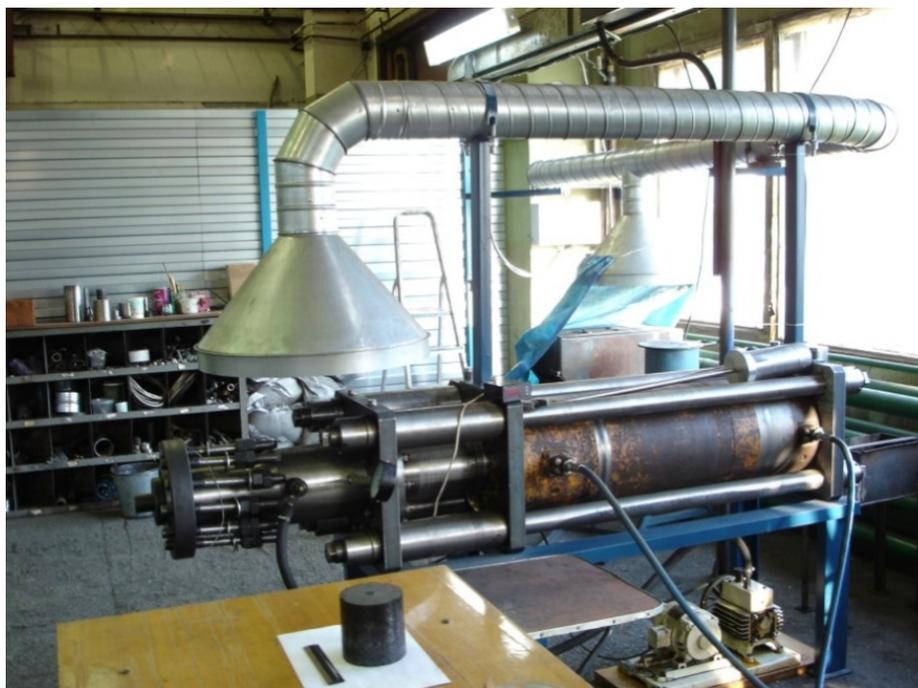


Рис. 3. Общий вид станда для получения и исследования влияния качественного и количественного состава композита на свойства модели горных пород

Результаты

На рис. 4 на примере угля марки Д различной крупности показаны полученные зависимости изменения температуры образца от давления прессования. Измерения температуры образца осуществлялось при атмосферном давлении и в условиях низкого вакуума.

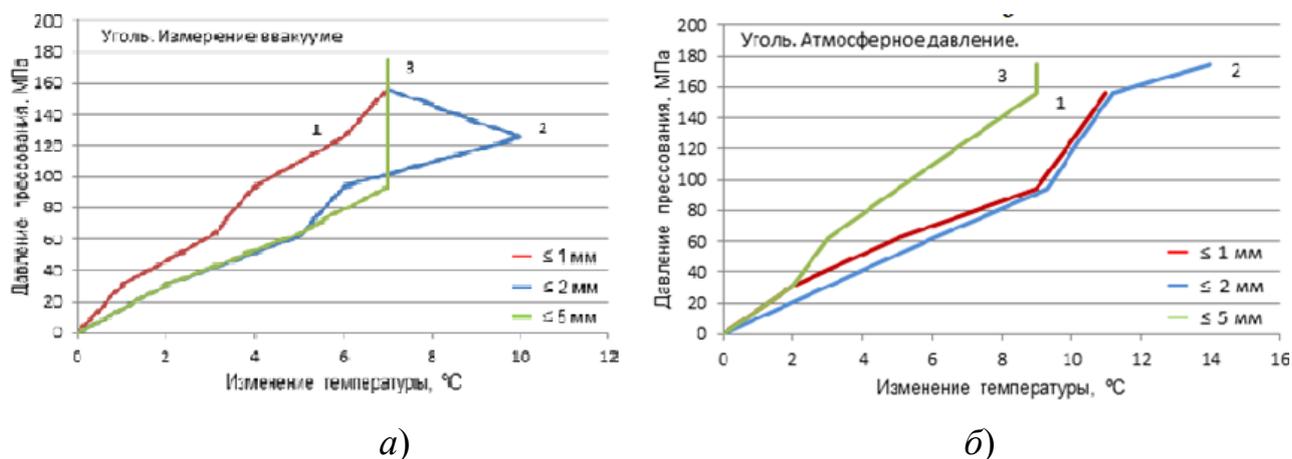


Рис. 4. Зависимости изменения температуры образца из угля различной крупности при изменении давления прессования: а) при измерении в вакууме; б) при измерении при атмосферном давлении

Сводные результаты выполненных исследований на примере различных материалов для формирования брикетов приведены в таблице.

Сводные результаты исследований влияния качественного и количественного состава композита на свойства брикетов

Материал	ΔT max, °C в условиях:		Деформация max, мм	Плотность, г/см ³	Работа сжатия, кДж
	атмосферы	низкого вакуума			
Уголь марки Д, фракция ≤ 1,0 мм	11	7	106	1,26	25,05
Уголь марки Д, фракция ≤ 2,5 мм	9	7	112	1,14	20,29
Уголь марки Д, фракция ≤ 5,0 мм	9	7	113	1,14	20,29
Известняк, фракция ≤ 1,0 мм	6	7	106	2,41	21,2
Известняк, фракция ≤ 2,5 мм	6	4	107	2,46	21,6
Известняк, фракция ≤ 5,0 мм	11	4	114	2,51	21,4
Графит, фракция ≤ 1,0 мм	6	6	139	1,68	31,28
Продукт золоудаления, фракция ≤ 1,0 мм	11	12	137	1,57	25,98
Опилки древесные	6	6	183	1,73	13,34

Обсуждение

Зависимости изменения температуры образцов, представленных углем марки Д различной крупности, от давления прессования (рис. 4) показывают, что при повышении давления температура брикета повышается максимум на 14 °C при атмосферном давлении и на 10 °C в вакууме. В работе [11] экспериментально в условиях объемного сжатия (образцы угля 40x60 мм, давление до 5 МПа) отмечено повышение температуры $\Delta T \geq 3$ °C.

Результаты исследований влияния качественного и количественного состава композита на свойства полученных брикетов, приведенные в таблице, свидетельствуют о повышении их температуры. Максимальные значения температур (в условиях атмосферы – 11 °C, в вакууме – 12 °C) зафиксированы для брикетов на основе продукта золоудаления крупностью ≤ 1,0 мм.

Следует отметить, что в соответствии с таблицей обобщенных результатов исследований влияния качественного и количественного состава композита на свойства полученных брикетов максимальная деформация характерна для дре-

весных опилок, а максимальная работа сжатия – 31,28 кДж – определена для графита крупностью $\leq 1,0$ мм. Плотность угля различных марок изменяется в диапазоне от 1,15 до 1,80 г/см³ в зависимости от их зольности и глубины залегания. По данным [12] плотность угля марки Д составляет 1,2 г/см³, плотность известняка изменяется в зависимости от глубины его залегания в диапазоне от 2,37 до 2,51 г/см³.

Заключение

Таким образом, разработан и изготовлен специальный гидравлический стенд для создания моделей композита «уголь-газ-влага» и физического моделирования горных пород с учетом их вещественного состава. С использованием стенда выполнены исследования влияния физических параметров (фракционного и минерального составов твердой фазы, температуры, давления и др.) на формирование искусственных образцов композитов на примере различных горных пород и изучены свойства брикетов. При этом численные значения физических характеристик брикетов: температура, плотность, деформация, работа сжатия, соответствуют реальным горным породам [12-16]. Дальнейшее использование стенда для изучения композита «уголь-газ-влага» позволит определить механизм образования взрывоопасной среды, её детонации и динамического разрушения в зонах метастабильного состояния угольного массива и сформировать его физическую модель.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гюльмалиев А.М., Головин Г.С., Гладун Т.Г. Теоретические основы химии угля. – М.: Изд-во МГГУ, 2003. – 556 с.
2. Козловский Е.А., Шаров Г.Н., Канторович А.Э., Грицко Г.И., Кузнецов Ф.А., Курленя М.В., Ковалев В.А., Ростовцев В.И., Белозеров И.М., Черноок В.А., Минин В.А., Вашлаева Н.Ю. Взрывоопасность газа при подземной добыче угля в Кузбассе // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2018. – Т. 5. – № 1, С. 76-82.
3. Ван-Кревелен Д.В., Шуер Ж. Наука об угле. – М.: Гос. науч.-техн. изд-во по горному делу, 1960. – 302 с.
4. Айруни А.Т. Прогнозирование и предотвращение газодинамических явлений в угольных шахтах / А. Т. Айруни. - Москва: Наука, 1987. – 310 с.
5. Эттингер И.Л. Газоёмкость ископаемых углей. – Москва: Недра, 1966. – 224 с.
6. Основы теории внезапных выбросов угля, породы и газа / Институт горного дела им. А. А. Скочинского (ИГД). – Москва: Недра, 1978. – 164 с.
7. Бычков С.В. Химические реакции в процессе землетрясений. Взрыв пород горного массива как источник толчков, внезапных выбросов и горных ударов // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2016. – № 4, С. 36–47.
8. Петросян А.Э., Иванов Б.М., Крупеня В.Г. Теория внезапных выбросов. Москва: Наука, 1983. – 152 с.
9. Hargraves, A.J. Gas and gas-dynamic phenomena in coal and evaporates. Coalbed Methane Symposium, November 1992.
10. Колесниченко Е.А., Колесниченко И.Е. Формирование физико-химической структуры угольного вещества с аномальными свойствами в очагах внезапных выбросов угля и газа // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2000. – № 5, С. 199–200.

11. Некоторые проблемы газодинамических явлений в угольном массиве в контексте нелинейной неравновесной термодинамики. / А.Ф. Булат, В.И. Дырда. – Киев: «Геотехнічна механіка», 2013. – С. 108.

12. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика / Под ред. Н.Б. Дортман. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1984. – 455 с.

13. Физические свойства минералов и горных пород при высоких термодинамических параметрах: Справочник / Е.И. Баяк, И.С. Томашевская, В.М. Добрынин и др.; Под ред. М.П. Воляровича. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1988. – 255 с.

14. Шубин В.П. К вопросу об исследованиях физико-механических свойств некоторых пород каменного угля шахт Кузбасса // Известия Томского Ордена Трудового Красного Знамени политехнического института имени С.М. Кирова. – 1951. – Том 68. – Вып. 1. – С. 130-170.

15. Ильницкая Е.И., Тедер Р.И., Ватолин Е.С., Кунтыш М.Ф. Свойства горных пород и методы их определения. Под ред. проф. докт. техн. наук М.М. Протодьяконова. – М.: Недра, 1969. – 392 с.

16. Данилович А. Давление и его влияние на вещество. www.electrosad.ru/Proekt/Earth.htm

© В. И. Ростовцев, О. Р. Кулагин, Б. Б. Сиволап, 2019