

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФГБОУ ВПО «СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

В. И. Коченовский, Г. Л. Козинов, А. Л. Давыдова

ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МАШИНЫ

Утверждено редакционно-издательским советом СибГТУ
в качестве учебного пособия для студентов направления
250401.62 «Лесоинженерное дело» всех форм обучения

Красноярск
2013

УДК 630.377 (075.8)

Коченовский, В. И. Дорожно-строительные материалы и машины : учебное пособие для студентов направления 250401.62 «Лесоинженерное дело» всех форм обучения / В. И. Коченовский, Г. Л. Козинов, А. Л. Давыдова. – Красноярск : СибГТУ, 2013. – 120 с.

Рецензенты: главный инженер проекта

ОАО «Красноярсклеспроектстрой» Шмелев В.В.,
канд. техн. наук, доц. Михайленко А. В. (НМС СибГТУ)

Приведены сведения о дорожно-строительных материалах, применяемых при строительстве лесовозных дорог.

Рассматриваются все виды отечественных дорожно-строительных машин. Анализируется развитие и виды дорожно-строительных машин. Описываются тягово-эксплуатационные расчеты, отдельные узлы и механизмы дорожно-строительных машин, навесное оборудование.

© Коченовский В. И.,
Козинов Г. Л.,
Давыдова А. Л., 2013

© ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный технологический университет», 2013

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
РАЗДЕЛ I ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	7
1. Дорожно-строительные материалы, классификация, основные свойства	7
1.1 Понятие о материале.....	7
1.2 Классификация дорожно-строительных материалов.....	7
1.3 Основные свойства ДСМ.....	9
1.4 Оценка качества материалов.....	13
Контрольные вопросы.....	14
2. Грунты и природные каменные материалы.....	15
2.1 Понятие о грунте.....	15
2.2 Классификация грунтов.....	15
2.3 Природные каменные материалы.....	17
2.4 Главные породообразующие минералы.....	17
2.5 Структура и текстура горной породы.....	20
Контрольные вопросы.....	21
3. Горные породы как сырье для производства каменных материалов	22
3.1 Классификация горных пород, добыча и переработка.....	22
3.2 Требования к гравиям, щебню, песку.....	25
Контрольные вопросы.....	29
4. Грунты в дорожном строительстве.....	30
4.1 Дорожно-строительная классификация.....	30
4.2 Зерновой состав.....	31
Контрольные вопросы.....	32
5. Керамические материалы.....	33
5.1 Общие сведения и классификация керамических материалов	33
5.2 Сырье для производства керамических материалов и их свойства	34
5.3 Основные положения технологии производства керамических материалов.....	36
5.4 Дорожные керамические материалы	38
Контрольные вопросы.....	38
6. Шлаки промышленные в дорожном строительстве.....	39
6.1 Шлаки. Классификация и их свойства.....	39
6.2 Переработка шлаков.....	41

Контрольные вопросы.....	42
7. Минеральные вяжущие материалы.....	43
7.1 Классификация минеральных вяжущих материалов.....	43
7.2 Характеристика неорганических вяжущих материалов.....	44
Контрольные вопросы.....	47
8. Бетоны.....	48
8.1 Классификация бетонов.....	48
8.2 Основные требования к бетонной смеси.....	49
8.3 Основные свойства обычного тяжелого бетона.....	50
8.4 Бетоны для дорожного строительства.....	51
Контрольные вопросы.....	53
9. Органические вяжущие материалы.....	54
9.1 Определение и классификация.....	54
9.2 Характеристика органических вяжущих материалов.....	55
9.3 Асфальтобетонные смеси.....	57
9.4 Свойства асфальтобетона и технология изготовления.....	58
Контрольные вопросы.....	60
 РАЗДЕЛ 2 ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ	61
10. Общие сведения о дорожно-строительных машинах (ДСМ)....	61
10.1 Основные параметры и классификация ДСМ.....	61
10.2 Требования, предъявляемые к дорожно-строительным машинам	63
Контрольные вопросы.....	64
11. Основные сведения о теории резания грунтов и тяговых расчетах	65
11.1 Основные положения теории взаимодействия рабочих органов дорожно-строительных машин с грунтом.....	65
11.2 Теоретические основы тяговых расчетов.....	66
Контрольные вопросы.....	69
12. Землеройно-транспортные машины ножевого типа (ЗТМ).....	70
12.1 Назначение и технологический процесс ЗТМ.....	70
12.2 Бульдозеры. Конструкции. Классификация.....	71
12.3 Автогрейдеры, грейдеры. Конструкции и классификация.....	73
Контрольные вопросы.....	76
13. Землеройно-транспортные машины ковшового типа.....	77

13.1 Скреперы. Классификация. Конструкции. Технология работ...	77
13.2 Экскаваторы. Классификация. Конструкции. Технология работ...	79
Контрольные вопросы.....	82
14. Машины для уплотнения грунтов.....	83
14.1 Физический процесс уплотнения.....	83
14.2 Катки и грунтоуплотняющие машины.....	85
Контрольные вопросы.....	91
15. Машины для производства каменных материалов.....	92
15.1 Машины и оборудование для буровзрывных работ.....	92
15.2 Машины для измельчения каменных материалов.....	92
15.3 Сортировочные машины и дробильно-сортировочные заводы	94
Контрольные вопросы.....	96
16. Машины для строительства дорожных одежд.....	97
16.1 Машины для строительства усовершенствованных покрытий	97
16.2 Машины для устройства дорожных одежд переходного типа	99
Контрольные вопросы	101
17. Машины для строительства искусственных сооружений	102
17.1 Свайные молоты и копры. Конструкции. Назначение.....	102
17.2 Штанговый и трубчатый дизель-молоты. Конструкции.....	103
17.3 Вибропогружатели и вибромолоты. Конструкции.....	104
Контрольные вопросы.....	105
Библиографический список.....	106

ВВЕДЕНИЕ

Строительство лесовозных автомобильных дорог с прочным дорожным покрытием, которое должно противостоять воздействию многочисленных природных факторов, воздействию большегрузных автопоездов и обеспечить многолетнюю круглогодичную работу, является одной из основных задач повышения эффективности производства, которая осуществляется с использованием комплекта дорожно-строительных машин при рациональном применении в дорожных конструкциях различных дорожно-строительных материалов.

Эффективное использование разнообразной дорожно-строительной техники и дорожно-строительных материалов при строительстве и эксплуатации лесовозных автомобильных дорог требует хорошо подготовленных и квалифицированных специалистов.

Будущие лесоинженеры, для которых предназначен этот курс лекций, должны знать современное рабочее оборудование и гидроприводы дорожно-строительных машин, область их применения с правильной эксплуатацией при региональных технологических режимах работы и владеть общими сведениями о традиционных и новых дорожно-строительных материалах, знать их классификацию, основные свойства и характеристики, технические требования к ним и методы испытаний, уметь улучшать качество применяемых дорожно-строительных материалов, заменять традиционные материалы на новые, осуществлять расчетным путем подбор составов смесей.

Основной задачей данного курса лекций является помощь в изучении всех вышеперечисленных вопросов.

Учебное пособие может быть полезно при выполнении расчетно-графических работ, курсовых работ, предусмотренных учебными планами не только лесоинженерного факультета.

Дисциплина «Дорожно-строительные материалы и машины» предусмотрена учебным планом для студентов третьего курса направления 250401.62 «Лесоинженерное дело» очной и заочной форм обучения. В соответствии с учебным планом эта дисциплина включает в себя теоретическую часть в виде лекций, а также курс лабораторных и практических работ.

Изложение учебного материала производится по 2-м учебным неделям. По одной неделе изучаются дорожно-строительные машины, включая теоретическую часть в виде лекций и курс практических работ. По другой неделе дорожно-строительные материалы, включая курс лекций и лабораторных работ.

Практические и лабораторные работы выполняются студентами в аудиториях под руководством преподавателя в часы, отведенные для практических и лабораторных занятий.

Курсовая работа выполняется самостоятельно каждым студентом согласно индивидуальному заданию.

Курс «Дорожно-строительные материалы и машины» общим объемом 100 часов изучается на 3-м курсе дневного и 4-м курсе заочного отделения и завершается зачетом, курсовой работой и экзаменом.

РАЗДЕЛ I ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1. Дорожно-строительные материалы, классификация, основные свойства

1.1 Понятие о материале

Материалом называют вид материи, обладающий определенными вещественным составом, структурой и свойствами. Материал представляет собой вещество или совокупность веществ, однако в отличие от вещества, при изучении материалов основное внимание уделяют их возможному применению.

Известно много различных материалов, отличающихся по составу, свойствам, применению. Ограничимся изучением лишь дорожно-строительных материалов, оценкой их свойств, в том числе и новых (дернит, золы уноса, различные полимерные материалы), а также получением общих сведений о принципах их применения, проектирования составов дорожно-строительных смесей, определения эксплуатационных свойств покрытий.

1.2 Классификация дорожно-строительных материалов

ДСМ классифицируют по различным признакам – происхождению, назначению, вещественному составу, структуре и т.д.

Важнейшей характеристикой строительных материалов является химический состав, включающий в себя кремний, углерод, кислород, водород, алюминий, железо, кальций, магний, натрий, калий и др. химические элементы.

По *химическому составу* ДСМ материалы делят на неорганические и органические группы. Неорганическую группу подразделяют на ме-

таллы, природные и искусственные каменные материалы, керамику, неорганические вяжущие и материалы на их основе. В органическую группу входят полимеры и материалы на их основе, древесина, лаки и краски.

Химический состав большинства неорганических материалов (кроме металлов) удобно выражать количеством содержания в них оксидов. Основные и кислотные оксиды химически связаны между собой и образуют минералы, которые и определяют свойства материалов.

Например, если в граните содержится более 50 % кварца (SiO_2), то этот материал характеризуется высокой прочностью и долговечностью.

Строительные материалы состоят из одного или нескольких веществ, которые могут существовать самостоятельно. Строительный гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$, известково-глиняный раствор состоит из гашеной извести $\text{Ca}(\text{OH})_2$, глины, песка.

Особое место в характеристике материала занимает их структура и строение. Под понятием «структура» понимают совокупность данных о строении материала, взаиморасположении структурных элементов, их количественном соотношении и взаимосвязи.

При изучении структуры материала необходимо учитывать ее «масштабный уровень». По «масштабному уровню» и методам изучения различают:

1. Макроструктуру – строение, видимое невооруженным глазом.
2. Микроструктуру – строение, видимое в оптический микроскоп.
3. Ультроструктуру – внутреннее строение вещества, изучаемое методами электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа и другими физико-химическими методами.

На уровне ультраструктуры изучают строение вещества, виды химических связей, кристаллическое, аморфное строение и т.д.

Атомы, ионы, молекулы, образующие вещества, удерживаются химическими связями. Все их многообразие может быть описано следующими четырьмя типами связей: ионная, ковалентная, металлическая, молекулярная.

Ионная связь образуется, когда одни атомы теряют, а другие приобретают один электрон и соответственно превращаются в положительные или отрицательные ионы (оксид кальция, поваренная соль, хлористый кальций, продукты гидратации портландцемента).

При *ковалентной связи* два атома делят между собой электроны внешней оболочки, образуя таким образом общую внешнюю оболочку (алмаз, кварц). Для этих материалов характерны плотная упаковка, высокая прочность, твердость, тугоплавкость.

Металлическая связь – переходная между ионной и ковалентной, при которой все атомы теряют свои валентные электроны и владеют ими сообща. Металлы характеризуются высокой плотностью, тепло- и электропроводностью.

Молекулярная связь возникает за счет некоторого смещения центров электрического заряда электрически нейтральных атомов или молекул (органически связующие, полимерные материалы).

1.3 Основные свойства ДСМ

Свойства материала – это показатели, с помощью которых можно оценить взаимодействие материала с окружающей средой. Они делятся на физические, механические, химические.

Физические свойства: истинная и средняя плотности, пористость,

теплопроводность, теплоемкость, водопроницаемость, водопоглощение, усадка, огнеупорность и др. Характеризуют физическое состояние материала, его отношение к физическим процессам окружающей среды.

Механические свойства – способность материала сопротивляться деформированию и разрушению под действием напряжений от внешних сил. Прочность, упругость, вязкость, пластичность, хрупкость, релаксация, ползучесть, твердость материалов и т.д.

Химические свойства материала определяют его способность вступать в химическое взаимодействие с веществами среды. Растворимость, кристаллизация, коррозионная стойкость, старение, атмосферостойкость, адгезия, горючесть, токсичность и др.

Свойства материалов не остаются стабильными, они изменяются под воздействием физических, механических, физико-химических факторов.

Например, прочность свежееуложенного асфальтобетона при повышении температуры на 50 °С уменьшается в 2 раза.

Прочность сосны при увлажнении на 20 % уменьшается в 1,5 раза по сравнению с воздушно-сухим состоянием.

Изоляционные свойства определяются в основном показателями физических свойств.

Пористость – количество пор и микротрещин в единице объема материала в % :

$$V = (1 - \rho_m / \rho) \cdot 100, \quad (1)$$

где ρ_m , ρ – средняя и истинная плотность материала.

Влажность определяют в % по объему или массе

$$W_v = (m_e - m_c) / V \cdot 100 \quad \text{или} \quad W_m = (m_e - m_c) / m_c \cdot 100, \quad (2)$$

где m_e , m_c , V – масса влажного, сухого и объем материала.

Акустические свойства – сопротивляемость материала распространению звука. Скорость распространения звука – в воде 15450 м/с, в кирпичной кладке 3000-4000 м/с, стали 5000 м/с, резине 40 м/с.

Конструктивные свойства оцениваются показателями механических свойств, характеризующих способность материалов сопротивляться всем видам механических воздействий: на сжатие, растяжение, изгиб, удар, твердость.

Прочность – важнейшее свойство материала, в большинстве случаев определяет возможность его использования в строительной конструкции. Наиболее прочными материалами являются металлы, сталь – 150-500 МПа при сжатии и растяжении. Прочность гранита при сжатии изменяется от 1 до 100 МПа, а при растяжении в 10-15 раз меньше. Прочность асфальтобетонов при сжатии 5-10 МПа ($t=20-25^{\circ}\text{C}$).

Упругость – свойство материала обратимо поглощать энергию извне, что выражается в восстановлении первоначальной формы и объема образца после прекращения действия сил.

Вязкость – свойство материала под действием внешних сил необратимо поглощать энергию при пластической деформации. Вязкость жидких материалов – характеризует способность сопротивляться перемещению одного слоя материала относительно другого.

Абсолютно упругих и абсолютно вязких материалов нет.

Реальные материалы обладают в той или иной степени упругостью и вязкостью.

Упругость и вязкость материала характеризуют соответственно модулем упругости и коэффициентом вязкости:

$$E = \sigma/\epsilon, \quad \eta = \tau/(d\epsilon/dt), \quad (3)$$

где σ , τ – напряжение нормальное и касательное, МПа;

ε , $d\varepsilon/dt$ – относительная деформация и скорость изменения относительной деформации, с.

Пластичность – способность материала необратимо деформироваться под влиянием действующих на него усилий без разрыва сплошности (образования трещин).

Хрупкость – способность материала под воздействием внешних сил разрушаться. Хрупкость противоположна пластичности.

Ползучесть – способность материала длительно деформироваться под действием постоянной нагрузки.

Твердость – способность материала сопротивляться проникновению в него более твердого материала. Метод Бринелля – вдавливание шарика.

Коэффициент конструктивного качества материала (удельная прочность) – отношение прочности к средней плотности. Лучшие конструктивные материалы имеют высокую прочность при малой средней плотности, что способствует созданию легких конструкций. У сплавов алюминия – 250, обычных сталей – 50, бетона – 15-20, кирпича – 5-6.

Важной задачей современной технологии материалов является повышение удельной прочности строительных материалов.

Эксплуатационные свойства характеризуются показателями, обеспечивающими высокую надежность работы материалов в течение заданного срока. Это долговечность, надежность, ремонтпригодность, истираемость, износ и др., горючесть, огнестойкость, токсичность.

Декоративные свойства обеспечивают эстетические требования к сооружению. Цвет, яркость, рисунок, шероховатость и др.

Технологические свойства – поведение материала при техпроцессе обработки и переработки. Буримость, формуемость, слеживаемость, не-

расслаиваемость и др.

Свойства материалов исключительно многообразны, их необходимо знать для того, чтобы правильно выбирать и эффективно применять материалы в данных конкретных условиях.

1.4 Оценка качества материалов

Под качеством строительных материалов понимают совокупность свойств, определяющих их пригодность для использования по назначению.

Качество материалов характеризуется показателями строительно-технических свойств, например, прочности, долговечности и надежности, технологичности, экономичности.

Важное место занимают статические показатели – коэффициенты неоднородности, вариации.

Показатели качества определяют с помощью приборов, инструментов, органолептическим методом, основанным на анализе ощущений человека, социологическим методом, т.е. обрабатывают мнения потребителей и специалистов. Часто используют комбинированный (смешанный) метод.

Разработку методов определения качества продукции, в том числе и материалов, научно обосновывает квалиметрия – отрасль знаний об измерении качества.

Показатели качества, а также их методы регламентируются нормативно-техническими документами, составленными и утвержденными стандартами ГОСТ, ОСТ, СТП, СН и П.

Все работы по контролю качества выполняет лаборатория или отдел технического контроля (ОТК).

Комплексная оценка качества материалов производится по двум категориям – высшей и первой.

Одной из главных задач инженера является определение свойств ДСМ (изоляционных, конструктивных, эксплуатационных, технологических), что позволит эффективно их использовать и наоборот при заданных материалах оптимизировать конструкцию и технологию строительства, проектирования составов дорожно-строительных смесей, определять эксплуатационные свойства покрытий.

Контрольные вопросы

1. Что называется материалом?
2. По каким признакам классифицируются дорожно - строительные материалы?
3. На какие группы по химическому составу подразделяются дорожно - строительные материалы?
4. Что такое свойство материала?
5. На какие свойства делятся дорожно - строительные материалы?
6. Основные физические свойства дорожно-строительных материалов.
7. Какие основные механические свойства дорожно - строительных материалов?
8. Какие свойства дорожно - строительных материалов относятся к химическим?

2. Грунты и природные каменные материалы

2.1 Понятие о грунте

Верхний слой земной коры, часто достигающий нескольких сотен метров, представляет собой кору выветривания, возникшую в результате протекания разнообразных процессов выветривания, изменяющих состав и свойства горных пород.

Под термином “грунт” следует понимать любую горную породу, почву, а также твердые отходы хозяйственной деятельности человека, используемые как основание или материал для возведения земляного полотна и инженерных сооружений.

Грунт представляет собой систему, состоящую из минеральных частиц, пространство между которыми заполнено водой и воздухом, а при отрицательной температуре в состав системы будет входить и лед.

Процессы физического, химического выветривания, приводящие к распаду скальных грунтов, обуславливают накопление все более мелких частиц вплоть до коллоидно-раздробленных – такие грунты приобретают свойства дисперсных систем.

Характеристикой степени дисперсности грунта является его удельная поверхность – отношение величины суммарной поверхности частиц к занимаемому ими объему.

Частицы, имеющие поперечный размер менее 0,2 мкм, принято называть коллоидными, а присущие им свойства – коллоидными свойствами.

2.2 Классификация грунтов

Грунты подразделяются на классы, группы, подгруппы, типы, виды и разновидности в соответствии с действующим ГОСТ 25100-82.

По характеру структурных связей грунты делят на 2 класса:

скальные – с жесткими структурными связями, залегающие в виде сплошного или трещиноватого массива;

нескальные – без жестких структурных связей между слагающими их частицами горных пород.

Скальные подразделяются на разновидности по величине предела прочности при сжатии (7 разновидностей от очень прочных $R_c > 120$ МПа до весьма низкой прочности $R_c < 1$ МПа), а также по степени размягчаемости, засоленности, растворимости, температуре и содержанию льда.

Нескальные грунты – на крупнообломочные, песчаные и глинистые, а также на биогенные, искусственные и почвы.

В зависимости от размеров частиц нескальных грунтов их подразделяют на гранулометрические элементы.

Таблица 1 - Гранулометрические элементы нескальных грунтов

Вид грунта	Разновидности	Размер частиц, мм
Глина	-	$\leq 0,005$
Пыль	Крупная, мелкая	0,005-0,05
Песок	Грубый, крупный, средний, мелкий, тонкий	0,05-2
Гравий (окатанный) и дресва	Крупные, средние, мелкие, очень мелкие	2-40
Галька (окатанная) и щебень	Крупный щебень (галька), щебень (галька), мелкий щебень (галька)	40-200
Валуны (окатанные) и глыбы	Крупные, средние, мелкие	≥ 200

2.3 Природные каменные материалы

Природными каменными материалами называют материалы, полученные из горных пород путем механической обработки без изменения их основных свойств.

По назначению делятся: для дорожного строительства, мостов, подземных и гидротехнических сооружений, архитектурно-строительные изделия и плиты, а также как сырьевые материалы для керамики, стекла, цемента, извести, гипса. Таким образом, горные породы являются главной материально-сырьевой базой ДСМатериалов.

Горными породами называют природные агрегаты минералов более или менее постоянного состава.

Минералы – это однородные по химическому составу и физическим свойствам природные тела.

Горные породы, состоящие из одного минерала, называют мономинеральными (мрамор), из нескольких минералов – полиминеральными (гранит).

2.4 Главные породообразующие минералы

В природе свыше 7000 минералов, но лишь 100 встречаются наиболее часто, входя в состав главнейших горных пород. Эти минералы называют породообразующими.

Свойства горных пород и природных каменных материалов определяются составом и количеством породообразующих материалов, и присутствие отдельных редких минералов, например, пирита (FeS_2), существенно влияет на эти свойства.

В зависимости от химического состава минералы делят на 10 классов: силикаты, карбонаты, оксиды, гидрооксиды, сульфиды и сульфаты.

Класс силикатов. Этот класс наиболее многочисленный, включающий до 500 минералов. Общее количество силикатов в земной коре по массе около 75 %, в основном они входят в состав изверженных и метаморфических пород.

Минералы этого класса, сходные по составу и строению, объединяют в группы: полевые шпаты, железисто-магнезиальные силикаты, слюды, глинистые минералы.

Полевые шпаты – алюмосиликаты калия (ортоклазы), натрия и кальция (плагиоклазы). Имеют разнообразный цвет: белый, розовый, красный, желтый, черный с синим оттенком. Полевые шпаты входят в состав гранитов, сиенитов, гнейсов и т.д., являются ценным сырьевым материалом в стекольной, керамической промышленности.

Железисто-магнезиальные силикаты – авгиты, роговые обманки, оливин. Темноокрашенные минералы, обладают большой плотностью, прочностью и вязкостью, но под влиянием атмосферных воздействий легко разлагаются.

Оливин присоединяет воду, переходит в серпентин, увеличиваясь в объеме. Одной из разновидностей серпентина является хризотил-асбест – сырье для асбестоцементной промышленности.

Слюды – алюмосиликатные минералы сложного химического состава, которые обладают совершенной спайностью, т.е. способны расщепляться на тонкие пластинки. Белая калиевая слюда (мусковит) и черная магнезиальная (биотит) наиболее распространены. Наличие слюды уменьшает механическую прочность, способствует разрушению.

Глинистые минералы образовались на поверхности земли в процессе выветривания алюмосиликатных минералов. К ним относятся каолинит, гидрослюда (иллит), монтмориллонит и др.

Глинистые минералы входят в состав глин, суглинков, супесей – основное сырье керамической промышленности.

Класс карбонатов – соли угольной кислоты, в основном карбонаты кальция и магния, являющиеся породообразующими минералами осадочных (известняк, доломит) и метаморфических (мрамор) горных пород.

Кальцит, или известковый шпат (CaCO_3), относится к числу распространенных минералов, имеет истинную плотность 2600-2800 кг/м³, твердость 3, плохо растворим в воде, но растворяется с бурным вскипанием в 10 % HCl.

Доломит ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) – двойная углекислая соль магния и кальция, белого цвета или с желтоватым оттенком, истинная плотность – 2500 кг/м³, твердость 4.

Магнезит (MgCO_3) – встречается в природе реже, чем кальцит. Плотность – 3000 кг/м³, твердость 4-4,5.

Классы оксидов и гидроксидов. Они включают около 200 минералов и оставляют по массе до 17 % земной коры. К ним относятся кварц, опал, оксиды железа и др.

Кварц (SiO_2) – содержание кварца в полиминеральных породах доходит до 25 % и более, например, в граните. В природе он обычно встречается в виде β -кварца с истинной плотностью 2650 кг/м³, твердость 7, $\sigma_{\text{ж}}=2000$ МПа, при обычных условиях инертен. Температура плавления 1713⁰С. Может быть прозрачным или матовым, бесцветным (горный хрусталь), фиолетовым (аметист), черным (морион), серым и др.

Разновидностями кварца являются халцедон и кремнь.

Аморфный кремнезем – опал ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) – истинная плотность 1900-2500 кг/м³, твердость 5-6,5. В отличие от кварца обладает большой