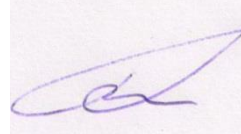


МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
Минералогии, петрографии и геохимии



/А.Ю. Альбеков/

26.06.2023г

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.О.21 Минералогия с основами кристаллографии

*Код и наименование дисциплины в соответствии с учебным планом*

**1. Код и наименование направления подготовки/специальности:**

05.03.01 Геология

**2. Профиль подготовки/специализация:** Геологическая съемка и поиски твердых полезных ископаемых

**3. Квалификация (степень) выпускника:** Бакалавр

**4. Форма обучения:** Заочная

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** минералогии, петрографии и геохимии

**6. Составители программы:** Резникова О.Г., к.г.-м.н., доцент

**7. Рекомендована:** научно-методическим советом геологического факультета, протокол №9 от 29.05.2023

**8. Учебный год:** 2023-2024; 2024-2025

**Семестр(ы):** 2,3,4

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целью освоения учебной дисциплины является:

- подготовка бакалавров компетентных в сфере диагностики минералов, владеющих знаниями теоретических и практических основ минералогических методов, обладающих умениями и навыками систематизировать минералы, определяя их физические свойства.

Задачи учебной дисциплины:

- формирование у обучаемых представлений о распространенности и практической значимости минералов, их классификации, особенностях конституции и химического состава, процессов минералообразования; овладение методами минералогических исследований;

- приобретение обучаемыми практических навыков диагностики минералов в полевых условиях и установления условий их образования.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** Блок Б1, обязательная часть учебного плана подготовки по специальности 05.03.01 Геология. Требование к входным знаниям, умениям и навыкам по дисциплинам: Физика, Химия. Дисциплина является предшествующей для дисциплин: Минераграфия, Кристаллооптика, Петрография, Основы учения о полезных ископаемых, Основы технологии переработки руд.

**11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников):**

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ОПК-2	Способен применять теоретические основы фундаментальных геологических дисциплин при решении задач профессиональной деятельности	ОПК-2.3	Диагностирует минералы, горные породы, руды полезных ископаемых, природные воды	Знать: основные минералогические методы, применяемые при исследовании свойств и состава минералов, способы и условия их образования в различных частях земной коры, практическое значение минералов.  Уметь: применять знания в строении, свойствах и химическом составе для диагностики минералов  Владеть: навыками практического определения минералов

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 5/180.**

**Форма промежуточной аттестации (зачет/экзамен)** зачет, экзамен.

## 13. Виды учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость				
	Всего	По сессиям			
		1 курс летняя	2 курс зимняя	2 курс летняя	
Аудиторные занятия	32	12	10	10	
в том числе:	лекции	14	6	4	4
	практические				

	лабораторные	18	6	6	6
Самостоятельная работа		135	24	58	53
Форма промежуточной аттестации (экзамен – 9 час., зачет 4 час.)		13	0	4	9
Итого:		180	36	72	72

### 13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
<b>1. Лекции</b>		
1.1	Основные понятия минералогии	Предмет минералогии. Современное определение понятия «минерал». Связь минералогии с общетеоретическими дисциплинами и науками геологического цикла. Краткая история развития минералогии. Цели и задачи современной минералогии, ее роль в поисково-разведочном деле, при разработке технологии и выявлении новых видов минерального сырья. Основные разделы минералогии.
1.2	Химический состав и внутреннее строение минералов	Химический состав минералов. Типы соединений. Минералы постоянного и переменного состава. Типы изоморфизма элементов в минералах. Факторы изоморфизма. Твердые растворы вычитания и внедрения. Явления распада твердых растворов. Роль и типы воды в минералах: конституционная, кристаллизационная, цеолитная, адсорбированная, межпакетная и гигроскопическая. Эмпирические и кристаллические формулы минералов. Методы пересчета химических анализов на формулы минералов.
1.3	Генезис и генетические признаки минералов	Классификация процессов минералообразования. Краткая характеристика эндогенных процессов: магматический, пегматитовый, контактово-метасоматический, гидротермальный, вулканический. Экзогенные процессы. Образование минералов на остаточных породах выветривания. Образование механических, химических и биохимических осадков. Метаморфические процессы минералообразования.
<b>2. Лабораторные работы</b>		
2.1	Основы кристаллографии	Элементы симметрии кристаллов. Составление кристаллографических формул по классификации Браве. Таблица сингоний и категорий.
2.2	Систематическая минералогия	Основные диагностические свойства минералов. Классификация минералов. Характеристика отдельных минералов: химическая формула, главные примеси, тип структуры, сингония и вид симметрии кристалла; особенности внешней формы, физические свойства, условия нахождения, особенности образования и разрушения, разновидности; характерные спутники, практическое значение. Тип простых веществ. Тип галогениды. Тип сульфидов. тип кислородных соединений. Класс оксидов и гидроксидов. Практический коллоквиум Класс сульфатов, карбонатов. Класс фосфатов и их аналогов, вольфраматов. Практический коллоквиум

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№	Наименование темы	Виды занятий (часов)
---	-------------------	----------------------

п/п	(раздела) дисциплины	Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Основы кристаллографии	0	-	2	10	12
2	Основные понятия минералогии	2	-	-	5	4
3	Химический состав и внутреннее строение минералов	6	-	-	10	16
4	Генезис и генетические признаки минералов	6	-	-	10	16
5	Систематическая минералогия	0	-	16	100	116
6	Зачет					4
7	Экзамен					9
	Итого:	14	-	18	135	180

#### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Обучающимся следует использовать опубликованные методические пособия по курсу «Минералогия с основами кристаллографии»; «Кристаллография и кристаллохимия» из списка литературы, электронные ресурсы ВГУ, а так же рекомендуется самостоятельная работа с коллекциями минералов и моделей кристаллов.

#### 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Бетехтин А. Г. Курс минералогии : учебное пособие для студ. вузов, обуч. по направлению подгот. 130300 "Прикладная геология" / А.Г. Бетехтин ; под науч. ред. Б.И. Пирогова, Б.Б. Шкурского .— М. : КДУ, 2008 .— 735 с.
2	Булах А. Г. Общая минералогия : учебник для студ. вузов, обуч. по специальности "Геология" / А.Г. Булах, В.Г. Кривовичев, А.А. Золотарев .— 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Academia, 2008 .— 410 с.
3	Бойко, С. В. Кристаллография и минералогия. Основные понятия [Электронный ресурс]: учебное пособие / С.В. Бойко ; Министерство образования и науки Российской Федерации ; Сибирский Федеральный университет.— Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2015 .— 212 с.: табл., ил. — Библиогр.: с. 190-194 .— Режим доступа <a href="http://biblioclub.ru/">http://biblioclub.ru/</a>

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4	Лазаренко Е.К. Курс минералогии : учебник / Е.К. Лазаренко. – Москва: Высшая школа, 1971. – 589 с.
5	Смолянинов Н.А. Практическое руководство по минералогии : – Москва: Недра, 1972. – 382 с.
6	Миловский А.В. Минералогия : учебник / А.В. Миловский, О.В. Кононов. – Москва: Издательство Московского государственного университета, 1982. – 311 с.
7	Годовиков А.А. Минералогия : учеб. / А.А. Годовиков. – М.: Недра, 1983. – 648 с.
8	Берри Л. Минералогия: теоретические основы. Описание минералов. Диагностические таблицы: учебник / Л.Берри, Б. Мейсон, Р. Дитрих. – М.: Мир, 1987. – 591 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:

\*

№ п/п	Ресурс
9	ЗНБ Воронежского государственного университета <a href="https://lib.vsu.ru">https://lib.vsu.ru</a>
10	ЭБС "Университетская библиотека online" <a href="https://biblioclub.ru">https://biblioclub.ru</a>
11	Электронно-библиотечная система «Консультант» <a href="http://www.studmedlib.ru">http://www.studmedlib.ru</a>

	студента»	
12	Электронно-библиотечная система «Лань»	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
13	Научная электронная библиотека	<a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>
14	Электронный курс «Минералогия с основами кристаллографии»	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2570">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2570</a>
15	Бесплатный некоммерческий справочно-образовательный портал для геологов, студентов-геологов	<a href="http://www.geokniga.org/">http://www.geokniga.org/</a>
16	Бесплатный некоммерческий портал с научно-популярной и учебной литературой по геологии	<a href="http://www.jurassic.ru/amateur.htm">http://www.jurassic.ru/amateur.htm</a>
17	Некоммерческий проект «Минералы и месторождения России и стран ближнего зарубежья»	<a href="https://webmineral.ru/">https://webmineral.ru/</a>

Вначале указываются ЭБС, с которыми имеются договора у ВГУ, затем открытые электронно-образовательные ресурсы

**16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы**  
(учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных) работ и др.)

№ п/п	Источник
1	Чернышова М.Н., Гончарова Л.В., Резникова О.Г. Минералогия с основами кристаллографии. Учебно-методическое пособие для вузов/ Издательско-полиграфический центр ВГУ/ 2012-42с.
2	Резникова О.Г., Альбеков А.Ю., Гончарова Л.В., Чернышова М.Н., Абрамов В.В., Бойко П.С., Кузнецов В.С. Кристаллография и кристаллохимия Учебно-методическое пособие для вузов/ Издательский дом ВГУ/ 2019-70с.

**17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)**

Программа курса реализуется с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий - электронный курс «Минералогия с основами кристаллографии» <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2570>

№пп	Программное обеспечение
1	WinPro 8 RUS Upgrd OLP NL Acdmc
2	OfficeSTD 2013 RUS OLP NL Acdmc
3	Неисключительные права на ПО Kaspersky Endpoint Security для бизнеса - Расширенный Russian Edition
4	Программная система для обнаружения текстовых заимствований в учебных и научных работах Антиплагиат.ВУЗ
5	Офисное приложение AdobeReader
6	Офисное приложение DjVuLibre+DjView

**18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

Реализация программы дисциплины требует наличия учебного кабинета и лаборатории кристаллографии и кристаллохимии.

Оборудование учебного кабинета: телевизор PhilipsLED 55", ноутбук TOSHIBA Satellite A200-235, LCD-проектор TOSHIBA TLP-X2500.

Оборудование лаборатории и рабочих мест лаборатории: коллекция кристаллических структур и моделей кристаллов, коллекция минералов, шкалы Мооса, фарфоровые пластинки, предметные стекла, стальные и медные иглы, магнитные стрелки, соляная кислота (10%)  
Проведение курса возможно с применением дистанционных образовательных технологий на образовательном портале ВГУ ([www.edu.vsu.ru](http://www.edu.vsu.ru)) осуществляется с применением ноутбука TOSHIBA Satellite A200-23J с встроенной видеокамерой и микрофоном.

**19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций**

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1	Основы кристаллографии	ОПК-2	ОПК-2.3;	Тестовое задание; аттестация с применением платформы Электронный университет
2	Основные понятия минералогии	ОПК-2	ОПК-2.3;	Тестовое задание; аттестация с применением платформы Электронный университет
3	Химический состав и внутреннее строение минералов	ОПК-2	ОПК-2.3;	Тестовое задание; аттестация с применением платформы Электронный университет
4	Генезис и генетические признаки минералов	ОПК-2	ОПК-2.3;	Тестовое задание; аттестация с применением платформы Электронный университет
5	Систематическая минералогия	ОПК-2	ОПК-2.3;	Тестовое задание; практическое задание; аттестация с применением платформы Электронный университет
Промежуточная аттестация форма контроля – зачет, экзамен				Перечень вопросов

## 20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

### 20.1. Текущий контроль успеваемости

Для дисциплины «Минералогия с основами кристаллографии» предусмотрена одна текущая аттестация, которая состоит из нескольких частей и растягнута во времени. Текущий контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

#### Перечень практических заданий

##### Практические задания №1

1. Определить минералы из предложенной коллекции. В коллекции 15 образцов.
2. Определить тип и класс к которому относится определенный минерал;
3. Написать химическую формулу минерала.

Критерии оценивания практического задания:

Критерии	Баллы
Обучающийся в полном объеме выполнил задание:, определил верно 75% и более минералов, написал их химический состав в виде формулы, определил тип и класс минералов	Зачтено
Обучающийся определил менее 75% минералов	Незачтено

#### Тестовые задания

##### Задание 1

- 1.Строение минералов. Главные типы структур.
- 2.Химический состав минералов. Типы соединений.
- 3.Изоморфизм в минералогии. Факторы изоморфизма.
- 4.Полиморфизм и полиморфные модификации.
- 5.Типы воды в минералах.
- 6.Физические свойства минералов.
- 7.Цвета и типы окраски минералов. Эталоны цвета минералов.

8.Классификация процессов минералообразования.

9 .Магматический процесс минералообразования и связанные с ним главнейшие полезные ископаемые.

10.Пегматитовый процесс минералообразования и связанные с ним полезные ископаемые.

11.Контактово-метасоматические процессы и связанные с ним полезные ископаемые.

12.Гидротермальный процесс и минералообразование из вулканических эксгальций.

13.Минералообразование в коре выветривания горных пород и руд.

14.Экзогенные процессы, их классификация и связанные с ними месторождения.

15.Метаморфические процессы и связанные с ними полезные ископаемые.

16.Принципы классификации минералов. Классификация минералов как химических соединений.

17.Классы самородных металлов и металлоидов. Свойства, происхождение и практическое значение (медь, серебро, золото, поликсен, алмаз, графит, сера).

18.Галогениды. Классификация и общие свойства, происхождение и практическое значение (флюорит, галит, сильвин, карналлит).

19.Сульфиды. Классификация, свойства, происхождение и практическое значение (халькозин, пирротин, пентландит, сфалерит, галенит, киноварь, борнит, халькопирит, реальгар, антимонит, аурипигмент, ковеллин, молибденит, пирит, марказит, кобальтин, арсенопирит, теннантит, тетраэдрит, буланжерит )

20.Класс оксидов и гидрооксидов. Классификация, общие свойства, происхождение и практическое значение (рутил, касситерит, корунд, ильменит, гематит, куприт, кварц, опал, магнетит, хромит, брусит).

21.Бокситы, лимониты, минералы марганцевых руд. Формулы, свойства, происхождение и практическое значение (Бокситы: диаспор, бемит, гидраргиллит. Лимониты-гетит, лепидокрокит. Марганцевые руды –пирролюзит, гаусманит, манганит ).

22.Класс карбонатов. Физические свойства, происхождение и практическое значение (кальцит, сидерит, магнезит, арагонит, смитсонит, церуссит, доломит, малахит, азурит).

23.Класс сульфатов. Физические свойства, происхождение и практическое значение (барит, целестин, англезит, ангидрит, тенардит, алунит, ярозит, гипс, мирабилит, эпсомит, халькантит, калиевые квасцы).

24.Класс фосфатов и вольфраматов. Физические свойства, происхождение и практическое значение (апатит, монацит, скородит, бирюза, вивианит, эритрин, аннабергит, торбернит, карнотит, вольфрамит, шеелит, крокоит)

25.Класс боратов .Физические свойства, особенности структур, происхождение и практическое применение (людвигит, бура, гидроборацит, борацит).

Критерии оценивания тестового задания:

Критерии	Баллы
Обучающийся уверенно отвечает на поставленные вопросы, дает точные формулировки и определения	Отлично
Обучающийся отвечает на поставленные вопросы, но иногда ошибается в точности формулировок и определений.	Хорошо
Обучающийся отвечает на поставленные вопросы с ошибками, не дает точных формулировок, но на наводящие вопросы дает примерные ответы	Удовлетворительно
Обучающийся не отвечает на поставленные вопросы	Неудовлетворительно

## 20.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Практическое задание (зачет)

1. Определить минералы из предложенной коллекции. В коллекции 15 образцов.
2. Определить тип и класс к которому относится определенный минерал;
3. Написать химическую формулу минерала.

Критерии оценивания практического задания:

Критерии	Баллы
----------	-------

Обучающийся в полном объеме выполнил задание:, определил верно 75% и более минералов, написал их химический состав в виде формулы, определил тип и класс минералов	Зачтено
Обучающийся определил менее 75% минералов	Незачтено

*Примеры вопросов к экзамену*

1.	Предмет минералогия. Понятие о минерале. Связь с другими науками.
2.	Краткая история развития минералогии. Роль российских ученых в развитии минералогических знаний.
3.	Значение минералов и роль минералогии в промышленности и сельском хозяйстве; разделение минералогии.
4.	Элементы симметрии кристаллов: оси, плоскости, центр. Понятие категорий и сингоний в кристаллографии.
5.	Строение минералов. Главные типы структур.
6.	Химический состав минералов. Типы соединений.
7.	Изоморфизм в минералогии. Факторы изоморфизма.
8.	Полиморфизм и полиморфные модификации.
9.	Псевдо- и пароморфозы, их генетическое значение.
10.	Типы воды в минералах.
11.	Эмпирические и кристаллохимические формулы минералов. Методы пересчета химических анализов на формулы минералов.
12.	Физические свойства минералов.
13.	Цвета и типы окраски минералов. Эталоны цвета минералов.
14.	Сростки и агрегаты минералов. Практическое значение морфологических признаков минералов.
15.	Генерация минералов. Понятие о парагенезисе.
16.	Основные методы минералогических исследований.
17.	Классификация процессов минералообразования.
18.	Магматический процесс минералообразования и связанные с ним главнейшие полезные ископаемые.
19.	Пегматитовый процесс минералообразования и связанные с ним полезные ископаемые.
20.	Контактово-метасоматические процессы и связанные с ним полезные ископаемые.
21.	21. Гидротермальный процесс и минералообразование из вулканических эксгалляций. Связанные с этими процессами полезные ископаемые.
22.	Минералообразование в коре выветривания горных пород и руд.
23.	Экзогенные процессы, их классификация и связанные с ними месторождения.
24.	Метаморфические процессы и связанные с ними полезные ископаемые.
25.	Принципы классификации минералов. Классификация минералов как химических соединений.
26.	Понятие вида, разновидностей и разновидностей в минералах.
27.	Классы самородных металлов и металлоидов. Свойства, происхождение и практическое значение.
28.	Галогениды. Классификация и общие свойства, происхождение и практическое значение.
29.	Сульфиды: классификация, свойства, происхождение и практическое значение.
30.	Класс оксидов и гидроксидов: классификация, общие свойства, происхождение и практическое значение.
31.	Бокситы, лимониты, минералы марганцевых руд: формулы, свойства, происхождение и практическое значение.
32.	Класс карбонатов: физические свойства, происхождение и практическое значение.
33.	Класс сульфатов: физические свойства, происхождение и практическое значение.
34.	Класс фосфатов и вольфрамов: физические свойства, происхождение и практическое значение.

Для оценивания результатов обучения на зачете используются следующие показатели:

- 1) знание теоретического материала и владение терминами и понятиями;
- 2) умение связывать теорию с практикой;
- 3) умение решать практические задачи;



Для оценивания результатов обучения на экзамене используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, применять теоретические знания для решения практических задач	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично (Зачтено)</i>
Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, применять теоретические знания для решения практических задач, но допускает ошибки при ответах на вопросы	<i>Базовый уровень</i>	<i>Хорошо (Зачтено)</i>
Обучающийся владеет частично теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, не в полной мере умеет применять теоретические знания для решения практических задач, допускает ошибки при ответах на вопросы	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Удовлетворительно (Зачтено)</i>
Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым трем (четырем) из перечисленных показателей. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки при решении практических задач и не дает ответы на вопросы,	–	<i>Неудовлетворительно (Не зачтено)</i>

### 20.3. Фонд оценочных средств сформированности компетенций

#### ОПК-2. Способен применять теоретические основы фундаментальных геологических дисциплин при решении задач профессиональной деятельности

##### 1) закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

ЗАДАНИЕ 1. Спайность минерала - это:

- 1) **способность кристаллов раскалываться параллельно определенным кристаллическим плоскостям**
- 2) степень сопротивления минерала внешним механическим воздействиям
- 3) эффект, вызываемый отражением света от поверхности минерала
- 4) способность кристаллов светиться при нагревании

ЗАДАНИЕ 2. Какой из перечисленных минералов обладает большей твердостью:

- 1) **Кварц**
- 2) Барит
- 3) Доломит
- 4) Алунит

##### 2) открытые задания (короткие ответы, средний уровень сложности):

ЗАДАНИЕ 1. К какому классу минералов относится самородное золото?

**Ответ: к классу самородные металлы**

ЗАДАНИЕ 2. Заполните пропуск: Минералы с низким удельным весом, совершенной спайностью и реагирующие с соляной кислотой относятся к классу....

**Ответ: Карбонаты**

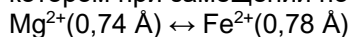
##### 3) открытые задания (ситуационные задачи, средний уровень сложности):

ЗАДАНИЕ 1. Изоморфизм. Типы изоморфизма.

**Ответ:** Свойство атомов, ионов или их группировок замещать другие атомы, ионы или их группировки в химических соединениях переменного состава называется изоморфизмом. Вхождение изоморфных примесей в минерал происходит без коренного изменения его кристаллической решетки, поскольку перестройка структуры привела бы к образованию нового минерала.

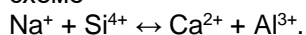
По валентности ионов выделяются два типа изоморфизма – изовалентный и гетеровалентный (разновалентный). Первый из них характеризуется заменой в кристаллической структуре ионов одинаковой валентности и широко проявляется при условии общности свойств и размеров замещающихся ионов. В соответствии с правилом В. М. Гольдшмидта, способность элементов к взаимозамещению убывает по мере возрастания разницы величин ионных радиусов ( $r$ ).

Примером совершенного, неограниченного (полного) изоморфизма является оливин  $(\text{Mg}, \text{Fe})_2[\text{SiO}_4]$ , в котором при замещении по схеме



отчетливо проявляется аддитивность состава и свойств в ряду форстерит  $(\text{Mg}_2[\text{SiO}_4])$  – фаялит  $(\text{Fe}_2[\text{SiO}_4])$ .

Примером гетеровалентного изоморфизма являются высокотемпературные Na–Ca полевые шпаты (плагиоклазы), включающие ряд разновидностей между альбитом  $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$  и анортитом с замещением по схеме



Факторы изоморфизма:

- близость радиусов, участвующих в изоморфных замещениях ионов и атомов (по правилу В. М. Гольдшмидта);
- сходство (близость) химических свойств замещающих друг друга элементов, принадлежащих к одной подгруппе периодической таблицы Д. И. Менделеева, и подобие в строении их внешних электронных оболочек;
- термодинамический фактор ( $P$  и  $T$ ), предложенный В. И. Вернадским.