

Правительство Российской Федерации  
Санкт-Петербургский государственный университет  
*Геологический факультет*

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дополнительные главы по кристаллогенезису  
Supplementary Chapters on Crystallogenesis**

Язык(и) обучения русский

Трудоёмкость 2 зачётных единиц

Регистрационный номер  
рабочей программы:

<small>код года утверждения</small>	/	<small>код факультета или иного структурного подразделения</small>	/	<small>порядковый номер или шифр</small>
---	---	--	---	--

Санкт-Петербург  
2012



<i>по формам обучения</i>																
1 семестр	20	25							2	40	10	16		25	25	1
	<small>студентов</small>	<small>студентов</small>	<small>студентов</small>	<small>студентов</small>	<small>студентов</small>	<small>студентов</small>	<small>студентов</small>	<small>студентов</small>	<small>студентов</small>	<small>студентов</small>	<small>студентов</small>	<small>студентов</small>	<small>студентов</small>	<small>студентов</small>		
2 семестр	10	20							2	34		16		15	20	1
ИТОГО:	30	45							4	74	10	32		40	45	2

### Виды, формы и сроки

#### текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

Код модуля в составе дисциплины, практики и т.п.	Промежуточная аттестация		Текущий контроль	
	Виды	Сроки	Формы	Сроки
<i>очная форма обучения</i>				
Модули не предусмотрены	экзамен	с 10 января, с 15 мая	Проверочная работа	7 неделя осеннего и весеннего семестров

### 1.7. Структура и содержание учебных занятий

#### 1. Введение в термодинамику необратимых процессов. Лекций - 20 час., семинаров - 25 час.

Тема 1. Второй закон термодинамики. Энтропия тепловая и статистическая. Возникновение энтропии при необратимых процессах. Производство энтропии в процессах переноса. Линейные феноменологические законы. Соотношения взаимности Онзагера.

Тема 2. Производство энтропии в химических реакциях. Производство энтропии в процессах кристаллизации. Эволюция линейных систем. Теорема Пригожина. Эволюция нелинейных систем. Универсальный критерий эволюции. Экзотермическая реакция в закрытой системе. Тепловой взрыв. Экзотермическая реакция в проточной системе.

Тема 3. Устойчивость стационарных состояний. Критерий устойчивости. Линейный случай. Нелинейный случай. Автокаталитическая реакция. Принцип максимума производства энтропии. Образование метастабильных фаз.

#### 2. Неравновесные структуры в кристаллогенезисе. Лекций – 10 час., семинаров - 20 час.

Тема 1. Структуры термогравитационной конвекции. Плоский слой. Структуры термогравитационной конвекции при выращивании кристаллов и в природных минералообразующих процессах.

Тема 2. Конкуренция свободной и вынужденной конвекции в методе Чохральского. Турбулентное течение и хаос. Структуры турбулентного смешения жидкостей. Диффузионная неустойчивость – изотропный и анизотропный случаи. Диффузионная неустойчивость при концентрационном переохлаждении. Ячеистый рост.

Тема 3. Осцилляционная зональность кристаллов – внешние механизмы. Автоколебательные механизмы осцилляционной зональности. Ритмическое осаждение при встречной диффузии компонентов реакции. Ритмическое осаждение при инфильтрации растворов.

Тема 4. Структуры распада твердых растворов. Структуры упорядочивающихся твердых растворов. Структуры мартенситных превращений. Структуры адсорбционной неустойчивости и антискелетного роста.

Тема 5. Деформационные структуры. Деформационно-реакционные структуры. Метаморфическая дифференциация. Автодеформационные структуры. Морфологический отбор и структурные перестройки при автодеформациях.

## Раздел 2. Обеспечение учебных занятий

### 2.1. Методическое обеспечение

#### 2.1.1. Методическое обеспечение аудиторной работы

Не требуется

#### 2.1.2. Методическое обеспечение самостоятельной работы

Не требуется

#### 2.1.3. Методика проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации и критерии оценивания

Проверочная работа в середине каждого семестра. Магистрантам предлагается 2 вопроса. Работа засчитывается при полном ответе на один вопрос и частичном ответе на второй.

#### 2.1.4. Методические материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации (контрольно-измерительные материалы)

##### 2.1.4.1. Не требуются

##### 2.1.4.2. Перечень примерных контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы по всем разделам программы:

#### **Введение в термодинамику необратимых процессов**

#### **Возникновение и эволюция энтропии**

- Второй закон термодинамики
- Способы определения энтропии
- Возникновение энтропии при необратимых процессах
- Обобщенные силы и обобщенные заряды
- Линейные феноменологические законы для разных типов сил
- Соотношения взаимности Онзагера на примере диффузии в системе с градиентом температуры

#### **Производство энтропии в химических реакциях. Эволюция**

- Химическое сродство и производство энтропии
- Химическое равновесие. Газотранспортные реакции
- Основной постулат химической кинетики
- Кристаллизация как химическая реакция. Вывод уравнения скорости роста кристалла из основного постулата химической кинетики
- Абсолютное и относительное пересыщение
- Особенности выражения пересыщения и записи уравнения скорости роста для случая кристаллизации твердых растворов
- Сравнение путей эволюции линейных и нелинейных систем
- Сравнение принципов минимума производства энтропии в стационарном состоянии и максимума производства энтропии
- Устойчивость равновесия. Лабильные состояния

#### **Устойчивость стационарных состояний**

- Теория устойчивости Гиббса
- Линейный анализ устойчивости системы с одной переменной
- Линейный анализ устойчивости системы с двумя переменными
- Аттракторы
- Автоколебательные химические реакции

- Метастабильные фазы. Правило ступеней Оствальда и принцип максимума производства энтропии
- Строение кристаллических зародышей
- Квазикристаллы

### Неравновесные структуры в кристаллогенезисе

#### Диффузионные и конвекционные неустойчивости

- Структуры термогравитационной конвекции при выращивании кристаллов и в природных минералообразующих процессах
- Турбулентное течение
- Структуры смешения магм разного состава
- Условия возникновения концентрационного переохлаждения и борьба с ним
- Неустойчивости плоского фронта роста кристалла
- Ячеистый рост при росте из расплавов и растворов

#### Осцилляционная зональность

- Распространенность осцилляционной зональности в минералах
- Признаки, указывающие на возникновение осцилляционной зональности за счет внешних и автоколебательных неустойчивостей
- Методы статистического анализа профиля осцилляционной зональности
- Борьба с осцилляционной зональностью, возникающей при выращивании монокристаллов
- Кольца Лизиганга

#### Неустойчивости, связанные с зарождением новой фазы

- Типы твердых растворов. Энтальпия и энтропия смешения
- Критерий стабильности твердого раствора
- Восходящая диффузия и спинодальный распад
- Использование структур распада твердых растворов в геологической спидометрии

#### Деформационные структуры

- Метаморфическая дифференциация
- Образование и иерархия блочной субструктуры кристаллов
- Геометрический отбор и его роль в формировании сферолитов
- Производство энтропии при автодеформациях

### 2.1.4.3. Примерный перечень вопросов к экзамену по всем разделам учебной дисциплины

#### Введение в термодинамику необратимых процессов

- Второй закон термодинамики. Энтропия тепловая и статистическая
- Возникновение энтропии при необратимых процессах
- Производство энтропии в процессах переноса
- Линейные феноменологические законы. Соотношения взаимности Онзагера
- Производство энтропии при химических реакциях
- Производство энтропии в процессах кристаллизации
- Эволюция линейных систем. Теорема Пригожина
- Эволюция нелинейных систем. Универсальный критерий эволюции
- Экзотермическая реакция в закрытой системе. Тепловой взрыв

- Экзотермическая реакция в проточной системе
- Устойчивость стационарных состояний. Критерий устойчивости
- Устойчивость стационарных состояний – линейный случай
- Устойчивость стационарных состояний – нелинейный случай
- Устойчивость стационарных состояний – автокаталитическая реакция
- Принцип максимума производства энтропии

#### Неравновесные структуры в кристаллогенезисе

- Структуры термогравитационной конвекции. Плоский слой
- Структуры термогравитационной конвекции при выращивании кристаллов
- Структуры термогравитационной конвекции в природных минералообразующих процессах
- Конкуренция свободной и вынужденной конвекции в методе Чохральского
- Турбулентное течение и хаос
- Структуры турбулентного смешения жидкостей
- Диффузионная неустойчивость – изотропный случай
- Диффузионная неустойчивость – анизотропный случай
- Диффузионная неустойчивость при концентрационном переохлаждении. Ячеистый рост
- Осцилляционная зональность кристаллов – внешние механизмы
- Автоколебательные механизмы осцилляционной зональности
- Ритмическое осаждение при встречной диффузии компонентов реакции
- Ритмическое осаждение при инфильтрации растворов
- Структуры распада твердых растворов
- Образование метастабильных фаз
- Структуры мартенситных превращений

## 2.2. Кадровое обеспечение

2.2.1. Требования к образованию и (или) квалификации штатных преподавателей и иных лиц, допущенных к преподаванию дисциплины  
Преподаватели с высшим специальным образованием (специальность - кристаллография)

2.2.2. Требования к обеспеченности учебно-вспомогательным и (или) иным персоналом  
Не требуется

2.2.3. Методические материалы для оценки обучающимися содержания и качества учебного процесса  
Не предусмотрены

## 2.3. Материально-техническое обеспечение

2.3.1. Требования к аудиториям (помещениям, местам) для проведения занятий

Стандартная аудитория

2.3.2. Требования к аудиторному оборудованию, в том числе к неспециализированному компьютерному оборудованию и программному обеспечению общего пользования  
Не требуется

2.3.3. Требования к специализированному оборудованию

Не требуется

2.3.4. Требования к специализированному программному обеспечению

Не требуется

2.3.5. Требования к перечню и объёму расходных материалов

2 пачки бумаги формата А4 для проведения экзаменов

2.4. Информационное обеспечение

2.4.1. Список обязательной литературы

1. Жабин А.Г. Онтогенез минералов. М.: Наука, 1979.

2. Современная кристаллография. Т. 3. М.: Наука, 1980.

2.4.2. Список дополнительной литературы

1. Асхабов А.М. Процессы и механизмы кристаллогенезиса. Л.: Наука, 1984.

2. Урусов В.С., Таусон В.Л., Акимов В.В. Геохимия твердого тела. М.: ГЕОС, 1997.

3. Пуарье Ж.-П. Ползучесть кристаллов. М.: Мир, 1988.

4. Эбелинг В. Образование структур при необратимых процессах. М.: Мир, 1979.

5. Пригожин И. От существующего к возникающему. М.: Наука, 1985.

6. Базаров И.П. Термодинамика. М.: Высшая школа, 1991.

2.4.3. Перечень иных информационных источников

Не требуется

### Раздел 3. Процедура разработки и утверждения рабочей программы

#### Разработчик(и) рабочей программы

Фамилия, имя, отчество	Учёная степень	Учёное звание	Должность	Контактная информация (служебный адрес электронной почты, служебный телефон)
Пунин Юрий Олегович	д.геол. мин. наук	доц.	профессор	<a href="mailto:jupcryst@gmail.com">jupcryst@gmail.com</a>

В соответствии с порядком организации внутренней и внешней экспертизы образовательных программ проведена двухуровневая экспертиза:

первый уровень (оценка качества содержания рабочей программы и применяемых педагогических технологий)		
Наименование кафедры	Дата заседания	№ протокола
Кристаллографии	10.05.2012	5
Минералогии	04.05.2012	6
второй уровень (соответствие целям подготовки и учебному плану образовательной программы)		
Экспертиза второго уровня выполнена в порядке, установленном приказом		
<i>должностное лицо</i>	<i>дата приказа</i>	<i>№ приказа</i>
Уполномоченный орган (должностное лицо)	Дата принятия решения	№ документа

#### Иные документы об оценке качества рабочей программы

Документ об оценке качества	Дата документа	№ документа

#### Утверждение рабочей программы

Уполномоченный орган (должностное лицо)	Дата принятия решения	№ документа

#### Внесение изменений в рабочую программу

Уполномоченный орган (должностное лицо)	Дата принятия решения	№ документа