

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН)

## АННОТАЦИЯ

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
ДИСЦИПЛИНА  
**«ФИЗИКА ПЛАНЕТНЫХ АТМОСФЕР»**

Направление подготовки 03.06.01 Физика и астрономия  
направленность (профиль)  
01.03.04 «Планетные исследования»

Москва  
2018 г.

## «Физика планетных атмосфер»

1. Общие сведения об атмосферах.
  - 1.1 . Строение Солнечной системы. Планеты земной группы, планеты-гиганты, малые тела
  - 1.2 Атмосферы и климат планет земной группы: Венера, Земля, Марс. Сравнительная планетология.
  - 1.3 Атмосферы планет гигантов: Юпитер, Сатурн, Нептун, Уран.
  - 1.4 Атмосферы и экзосферы спутников планет.
  - 1.5 Атмосферы комет
2. Наблюдения планетных атмосфер.
  - 2.1 Планетные миссии: основные их классы, этапы исследований, наиболее яркие достижения.
  - 2.2 Исследования Венеры.
  - 2.3 Исследования Марса.
  - 2.4 Исследования внешних планет
  - 2.5 Наземные измерения.
3. Экспериментальные методы исследований планетных атмосфер.
  - 3.1 Астрономические наблюдения. Спектроскопия высокого разрешения.
  - 3.2 Дистанционные наблюдения с космических аппаратов. Особенности наблюдений в различных спектральных диапазонах. Дистанционные активные методы.
  - 3.3 Прямые (in situ) измерения в планетных атмосферах.
4. Вертикальная структура атмосферы.
  - 4.1 Термическая структура атмосферы. Лучистое равновесие и конвекция. Адиабатический градиент. Парниковый эффект. Тропосфера, стратосфера, мезосфера, термосфера.
  - 4.2 Турбулентное перемешивание. Гомопауза. Диффузионное разделение и диссипация атмосферных газов. Экзосфера.
  - 4.3 Ионизация, диссоциация, перенос тепла в термосфере. Авроральные явления.
  - 4.4 Строение атмосфер Венеры, Земли, Марса, Титана и Юпитера.
5. Динамика планетных атмосфер.
  - 5.1 Уравнения геофизической гидродинамики. Гидростатическое приближение.
  - 5.2 Режимы общей циркуляции атмосфер. Ячейки Хэдли.
  - 5.3 Приближение бета-плоскости. Геострофическое приближение. Термический ветер.
  - 5.4 Волны в атмосферах планет. Внутренние гравитационные волны. Инерционные волны. Волны Россби. Баротропные и бароклинные моды. Бароклинная неустойчивость. Циклоны и антициклоны. Вынужденные колебания в атмосфере. Гравитационные и термические приливы.
  - 5.5 Турбулентность в планетных атмосферах. Колмогоровский спектр. Конвективная и сдвиговая неустойчивость. Число Ричардсона. Турбулентный пограничный слой. Турбулентные коэффициенты обмена.
  - 5.6 Модели общей циркуляции планетных атмосфер. Циркуляция атмосфер Венеры, Марса, Титана. Циркуляция атмосфер планет-гигантов.
6. Элементный и химический состав планетных атмосфер
  - 6.1 Основные процессы, вызывающие изменение состава атмосферы. Фотохимия.
  - 6.2 Фотохимическое равновесие. Стабильность состава планетных атмосфер.

- 6.3 Взаимодействие атмосфер с подстилающей поверхностью. Источники и стоки. Диффузия через пористые среды.
- 6.4 Диссипация атмосферных газов через экзосферы. Изотопный состав атмосфер планет, спутников и комет.
- 6.5 Состав атмосфер Марса и Венеры. Основные химические циклы: углерод, водород, сера.
- 6.6 Фотохимия атмосферы Земли
- 6.7 Фотохимия атмосфер внешних планет. Титан.
- 6.8 Химический состав экзосфер безатмосферных тел Солнечной системы.
- 6.9 Строение и состав кометных атмосфер. Родительские молекулы. Модель Хазера, фонтанная модель.
7. Спектроскопия атмосферных газов.
  - 7.1 Молекулярная спектроскопия. Основные закономерности вращательных, колебательно-вращательных и электронных спектров молекул.
  - 7.2 Спектроскопические базы данных.
  - 7.3 Процессы излучения и поглощения, механизмы уширения линии в атмосферах планет. Интерференция квантовых состояний. Контур Розенкранца.
  - 7.4 Столкновительная релаксация. Локальное термодинамическое равновесие. Резонансная флюоресценция.
8. Аэрозоли в планетных атмосферах.
  - 8.1 Облака, аэрозольная дымка, пыль, их типы, процессы образования
  - 8.2 Термодинамика фазовых переходов в атмосфере. Гомогенная и гетерогенная нуклеация. Конденсация и сублимация. Диффузионный и свободномолекулярный режим.
  - 8.3 Динамика аэрозолей. Седиментация. Гидродинамический и свободномолекулярный режим.
  - 8.4 Коагуляция. Уравнение Смолуховского. Критические явления в коагулирующих дисперсных средах. Осадки.
  - 8.5 Перенос заряда на аэрозолях. Электрические явления в атмосферах планет.
9. Основы теории переноса излучения.
  - 9.1 Уравнение переноса излучения. Поглощение, излучение, рассеяние. Оптическая толщина, функция источника. Размерность задачи переноса. Выбор системы координат.
  - 9.2 Модельные задачи переноса излучения. Уравнение Шварцшильда-Милна. Эффект потемнения к краю.
  - 9.3 Численные методы решения задач переноса. Приближение однократного рассеяния. Двухпотокное приближение, методы дискретных ординат, спектральные методы, метод Монте-Карло.
  - 9.4 Перенос излучения в линии. Кривые роста. Истинное поглощение и рассеяние на различных уровнях атмосферы. Спектр уходящего теплового излучения планеты.
  - 9.5 Рассеяние на аэрозолях. Теория Ми. Рассеяние на несферических частицах. Решение задач рассеяния на сложных и нерегулярных частицах. Методы дискретных диполей и FDTD.
  - 9.6 Обратные задачи дистанционного зондирования планетных атмосфер.
10. Климат планет и спутников.
  - 10.1 Тепловой баланс планеты. Влияние состава атмосферы на парниковый эффект. Радиационный эффект аэрозольных и облачных слоев.
  - 10.2 Радиационный форсинг атмосферной циркуляции. Основные факторы: атмосферное поглощение, альbedo поверхности, тепловая инерция, облака и аэрозоли.

- 10.3 Перенос пассивных примесей атмосферной циркуляцией. Пылевые бури и цикл воды на Марсе. Цикл серы на Венере. Углеводородный цикл на Титане.
- 10.4 Устойчивость климата планеты. Влияние орбитальных факторов. Проблема детектирования изменений климата. Экстраполяция климата в прошлое и будущее.

## Рекомендуемая литература

### в зарубежных изданиях:

- Bougher, S.W., D.M.Hunten, and Phillips, R.J., Venus II, The University of Arizona Press, Tucson, Arizona, 1997.
- Coustenis A., Taylor, F.W., Exploring an Earthlike World TITAN Second Edition, SERIES ON ATMOSPHERIC, OCEANIC AND PLANETARY PHYSICS, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 393 с., 2008
- Encyclopedia of the Solar system (second edition), edited by McFadden L.-A., Weissman P.R., Johnson T.V., Elsevier, 966, 2007.
- Houghton J., The physics of atmosphere (third edition), Cambridge University press, 320 с., 2005
- Hunten D.M., L. Colin, T.M.Donahue, and V.I.Moroz, EDS. Venus, The University of Arizona Press, Tucson, Arizona, 1983.
- Imke de Pater, Jack J. Lissauer, Planetary sciences, Cambridge University press, 528 с., 2004
- Irwin P. Giant planets of our Solar system. Atmospheres, composition and structure. Springer, 403с., 2009 (2006 – first edition).
- Jacobson M.Z. Fundamentals of atmospheric modeling, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 813 с, 2005
- Jupiter. The planet, satellites and magnetosphere, Edited by F. Bagenal, T.Dowling, W.McKinnon, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 719 с, 2006.
- Kieffer H.H., Jakosky, B.M., Snyder C.W. and Matthews M.S., eds. 1992, Mars (Tucson and London, The University of Arizona Press).
- Lewis J.S. Physics and chemistry of the Solar System. International Geophysics Series, v.87. Elsevier, 2004. 655p.
- McBride N., Gilmour I., An introduction to the solar system, Cambridge University press, 412 с., 2004.
- Sanchez-Lavega A., An Introduction to Planetary Atmospheres, CRC press: Taylor & Francis, 629 с., 2010.
- Taylor F.W. Planetary atmospheres Oxford University Press, 261 с., 2010

### в российских изданиях:

- Александров Ю.В. Введение в физику планет. Киев, Вища школа, 1982.
- Бакулин П.И. и др. Курс общей астрономии. М.: Наука, 2003 (5-е изд), М. «Эдиториал УРСС», 2001 (6 изд) (гл.7 и 9).
- Герцберг Г. Спектры и строение двухатомных молекул. М.: ИЛ, 1949 (гл. 1-4).
- Голицын Г.С. Введение в динамику планетных атмосфер. Л.: Гидрометеоздат, 1973.
- Гуди Р. Атмосферная радиация. М.: Мир, 1966.
- Гуди Р., Дж. Уокер. Атмосферы. М.: Мир, 1975.
- Дейменджан Д. Рассеяние электромагнитного излучения сферическими полидисперсными частицами. М.: Мир, 1971.

- Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия. М.: Наука, 1962; М.,  
Эдиториал УРСС, 2001 (2 изд.).
- Кондратьев К.Я., Москаленко Н.И. Тепловое излучение планет. Л.: Гидрометеиздат,  
1977.
- Краснопольский В.А. Фотохимия атмосфер Марса и Венеры. М.: Наука, 1982.
- Краснопольский В.А. Физика свечения атмосфер планет и комет. М.: Наука, 1987.
- Ксанфомалити Л.В. Планета Венера. М.: Наука, 1985.
- Маров М.Я. Планеты Солнечной системы. М.: Наука, 1986.
- Мороз В.И. Физика планеты Марс. М.: Наука, 1978.
- Мороз В.И. Физика планет. М.: Наука, 1967.
- Соболев В.В. Перенос излучения в атмосферах звезд и планет. М.: ГТТИ, 1956.
- Соболев В.В. Рассеяние света в атмосферах планет. М.: Наука, 1972.
- Солнечная система. Пер. под ред. В.И. Мороза. М.: Мир, 1978.
- Тимофеев Ю.М., Васильев А.А., Теоретические основы атмосферной оптики.  
СПб.: Наука, 2003, 474с.
- Чандрасекар С., Перенос лучистой энергии. М.: ИЛ, 1953.
- Чемберлен Дж. Физика планетных атмосфер. М.: Мир, 1981.
- Физика космоса. Маленькая энциклопедия. Под ред. Р.А. Сюняева М., Советская  
энциклопедия, 1986.
- Юпитер. Сб. под ред. Т. Герелса. М.: Мир, 1978.

### **Периодические издания**

Астрономический Вестник  
Космические исследования  
Icarus  
Planetary and Space Science  
Journal of Geophysical Research – Planets  
Journal of Geophysical Research – Atmospheres  
Journal of Quant. Spectroscopy and Radiative Transfer  
Advances of Space Research

### **Составители:**

к.ф. – м.н.

А. В. Родин

д.ф. - м.н.

Л. В. Засова

к.ф. – м.н.

А. А. Федорова

д.ф. - м.н.

О. И. Кораблев

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН)

## АННОТАЦИЯ

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
ДИСЦИПЛИНА  
«ДИНАМИКА ПЛАНЕТНЫХ СИСТЕМ»

Направление подготовки 03.06.01 Физика и астрономия  
направленность (профиль)  
01.03.04 «Планетные исследования»

Москва  
2018 г.

## 1. Строение Солнечной системы

1.1. Масштабы в Галактике и Солнечной системе. Население Солнечной системы. Планеты земной группы, планеты-гиганты, астероиды, кометы, метеороиды. Транснептуновые объекты. Облако Оорта и Койперовский пояс. Спутники и кольца планет.

1.2. Типы орбит в Солнечной системе. Законы Кеплера. Резонансы.

## 2. Ограниченная задача трех тел

2.1 Уравнения движения.

2.2 Интеграл Якоби.

2.3. Лагранжевы точки либрации. Астероида-троянцы и спутники-троянцы.

2.4. Задача N тел. Численные методы.

2.5. Динамический хаос в гравитационных системах. Предсказуемость орбитальной эволюции.

## 3. Гравитационные приливы

3.1 Гидростатическое равновесие. Приливная деформация. Фигура и внутреннее строение планет и спутников. Зона Роша.

3.2 Приливные моменты сил. Приливное взаимодействие и эволюция орбит.

3.3 Диссипация приливной энергии. Источники тепла Ио и Европы. Приливное разрушение спутников и комет.

## 4. Возмущения орбитальных движений

4.1. Вековые возмущения.

4.2. Резонансные возмущения. Внутренние и внешние линдбладовские резонансы. Коротационный резонанс. Устойчивые и неустойчивые резонансы. Щели Кирквуда.

4.3. Гравитационный захват и захват в резонанс. Гравитационные маневры межпланетных станций.

4.4. Устойчивость собственного вращения планет. Циклы Миланковича.

4.5. Негравитационные возмущения движения спутников и комет.

4.6. Столкновения в Солнечной системе.

## **5. Кольца планет**

5.1. Приближение сплошной среды. Распределение частиц колец по размерам.

5.2. Гравитационное отталкивание в задаче трех тел. Пастухи.

5.3. Резонансы в кольцах. Волны плотности и изгибные волны

5.4. Кольца Сатурна, Юпитера, Урана и Нептуна. Источники и стоки вещества колец.

## **6. Динамика внесолнечных планетных систем.**

6.1. Наблюдение экзопланет. Статистика орбитальных параметров.

6.2. Приливное взаимодействие со звездой. Эволюция орбит экзопланет.

## **Рекомендуемая литература**

### **в зарубежных изданиях:**

- Casoli F., Encrenaz Th. The new worlds. Extrasolar planets, Springer, 188с., 2007.  
Encyclopedia of the Solar system (second edition), edited by McFadden L.-A., Weissman P.R., Johnson T.V., Elsevier, 966, 2007.  
Greenberg R. Europa – the ocean moon. Search for an alien biosphere. Springer, 380 с., 2005  
Imke de Pater, Jack J. Lissauer, Planetary sciences, Cambridge University press, 528 с., 2004  
Jupiter. The planet, satellites and magnetosphere, Edited by F. Bagenal, T.Dowling, W.McKinnon, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 719 с, 2006.  
McBride N., Gilmour I., An introduction to the solar system, Cambridge University press, 412 с., 2004.

### **в российских изданиях:**

- Александров Ю.В. Введение в физику планет. Киев: Вища школа, 1982  
Бакулин П.И. и др. Курс общей астрономии. М.: Наука, 2003 (5-е изд), М. «Эдиториал УРСС», 2001 (6 изд).  
Боярчук А.А. (ред) Угроза с неба: рок или случайность? М.: Космоинформ, 1999.  
Горькавый Н.Н., Фридман А.М. Физика планетных колец. М.: Наука, 1994.  
Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. М.: Мир, 1978.  
Жарков В.Н. и Трубицын В.П. Физика планетных недр. М.: Наука, 1980.  
Ипатов С.И. Миграция небесных тел в Солнечной системе. М.: «Эдиториал УРСС», 2000 (гл.1).  
Марочник Л.С. Свидание с кометой. М.: Наука, 1985.



- Маров М.Я. Планеты Солнечной системы. М.: Наука, 1986.
- Мороз В.И. Физика планеты Марс. М.: Наука, 1978.
- Мороз В.И. Физика планет. М.: Наука, 1967 (гл.1 и раздел 4.3).
- Мюррей К., Дермотт С. Динамика Солнечной системы. М.: Физматлит, 2009.
- Планеты и спутники. Сб. под ред. Дж.Койпера и Б.Мидлхерста. М.: Мир, 1963.
- Резонансы в небесной механике. Под ред. Козлова В.В., 316 с., Инс.Комп.Иссл., М.: Ижевск, 2006.
- Солнечная система. Пер. под ред. В.И.Мороза. М.: Мир, 1978.
- Чемберлен Дж. Теория планетных атмосфер. М.: Мир, 1981.
- Физика космоса. Маленькая энциклопедия. Под ред. Р.А.Сюняева М.: Советская энциклопедия, 1986.

**Составитель:**

к.ф. – м.н.

А. В. Родин

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН)

## АННОТАЦИЯ

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
ДИСЦИПЛИНА  
**«ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ДИСТАНЦИОННОГО  
ЗОНДИРОВАНИЯ ПЛАНЕТ»**

Направление подготовки 03.06.01 Физика и астрономия  
направленность (профиль)  
01.03.04 «Планетные исследования»

Москва  
2018 г.

## «Приборы и методы дистанционного зондирования планет»

1. Излучение как источник информации о физических свойствах космического объекта.
  - 1.1. Теория переноса излучения и источники излучения.
  - 1.2. Отражение и рассеяние солнечной энергии поверхностью небесного тела. Альbedo, фазовая функция. Оппозиционный эффект.
  - 1.3. Взаимодействие электромагнитных волн оптического диапазона с атмосферами планет. Поглощение и рассеяние в атмосфере.
  - 1.4. Взаимодействие излучения с частицами дисперсной фазы.
  - 1.5. Прямые и обратные задачи теории переноса излучения.
  - 1.6. Особенности исследования планет в разных диапазонах спектра.
2. Экспериментальные методы дистанционного зондирования планет.
  - 2.1. Методы, основанные на измерении отраженного или рассеянного солнечного излучения.
  - 2.2. Методы, основанные на регистрации собственного излучения планет в ИК диапазоне.
  - 2.3. Методы, основанные на регистрации ослабления (поглощения) излучения.
3. Приборы для дистанционного зондирования планет в оптическом диапазоне спектра.
  - 3.1. Приемники излучения УФ, видимого и ИК диапазонов.
  - 3.2. Телевизионные камеры, фотометры и радиометры. Поляриметрия.
  - 3.3. Дифракционные спектрометры. Особенности УФ и ИК диапазонов.
  - 3.4. Фурье-спектрометры.
  - 3.5. Акустооптическая фильтрация излучения.
  - 3.6. Спектроскопия высокого разрешения. Эшелле-спектрометры, интерферометры Фабри-Перо, гетеродинные спектрометры.
  - 3.7. Картирующие спектрометры и гиперспектрометры.

- 3.8. Активные методы оптического зондирования планет. Лидары.
4. Приборы для дистанционного зондирования планет в субмиллиметровом и радиодиапазоне.
- 4.1. СВЧ-радиометры. Шумовая температура. Основные типы приемников СВЧ-излучения.
- 4.2. Радары. Основные диапазоны. Фазированные антенные решетки. Применение радаров в зондировании планет Солнечной системы.
- 4.3. Субмиллиметровые приборы. Супергетеродинные приемники. Основные типы детекторов: диоды Шоттки, НЕВ, SIS. Квaziоптика.
5. Приборы для дистанционного зондирования планет с помощью корпускулярного излучения.
- 5.1. Перенос ионизирующего излучения в твердом теле и атмосферах планет. Элементарные процессы.
- 5.2. Вторичное (альбедное) рентгеновское и гамма-излучение планеты. Альбедные нейтроны. Детекторы нейтронов и гамма-квантов.
- 5.3. Рентгеновские и гамма-спектрометры. Отождествление элементного состава поверхности планеты по характеристическому жесткому излучению.
6. Типовые задачи дистанционного зондирования планетных атмосфер в оптическом диапазоне спектра.
- 6.1. Определение химического состава атмосферы по спектру поглощения. Затменные методы. Преобразование Абеля. Особенности УФ и ИК диапазонов.
- 6.2. Термическое зондирование атмосферы в тепловом диапазоне
- 6.3. Спектроскопическое зондирование собственного излучения атмосферы в окнах прозрачности.

- 6.4. Определение микрофизических свойств аэрозоля по данным дистанционного зондирования.
7. Типовые задачи дистанционного зондирования поверхности планеты.
- 7.1. Коррекция атмосферных искажений спектра отражения планеты.
- 7.2. Восстановление тепловой инерции поверхности по данным спектрорадиометрии в тепловом диапазоне.
- 7.3. Восстановление структурных параметров поверхности по спектрам отражения.
- 7.4. Контролируемая классификация спектров поверхности. Спектральные библиотеки. Сигнатура класса. Метрика Махалонобиса.
- 7.5. Неконтролируемая классификация спектров поверхности. Факторный анализ и метод главных компонент.
- 7.6. Обработка гиперспектральных данных. Метод спектральных индексов.
- 7.7. Методы обработки изображений. Выделение границ множеств, Фурье- и вейвлет-анализ.

## **Рекомендуемая литература**

### **в зарубежных изданиях:**

- Barrie W. Jones. *Discovering the Solar System*, Second Edition, WILEY Ltd, England, 451 с., 2007.
- De Pater Imke, Jack J. Lissauer, *Planetary sciences*, Cambridge University press, 528 с., 2004.
- Encrenaz, Th. *Searching for Water in the Universe*, Springer, 193 с., 2004.
- Encyclopedia of the Solar system (second edition)*, edited by McFadden L.-A., Weissman P.R., Johnson T.V., Elsevier, 966, 2007.
- Hanel R.A., Conrath B.J., Jennings D.E., Samuelson R.E. Exploration of the Solar system by infrared remote sensing. 2<sup>nd</sup> edition // Cambridge Univ. Press. 2003. Cambridge, UK. 458 pp.*
- Hapke B. W. Theory of reflectance and emittance spectroscopy*, eds. Arvidson R.E., Rycroft M.J. // Cambridge Univ. Press. 1993. Cambridge, UK. 455 pp.
- McBride N., Gilmour I., *An introduction to the solar system*, Cambridge University press, 412 с., 2004.

- Mishchenko M.I., Travis L.D., Laris A.A., scattering, absorption and emission of light by small particles, Cambridge University press, 448 с., 2002.
- Rodgers C.D. Inverse methods for atmospheric sounding. Theory and practice. World scientific, 240 с., 2000.
- ❖ Sigrist M.W. Air monitoring by spectroscopic techniques, Awiley-interscience publications, 531 с., 1994.
  - ❖ Starck J.-L. F. Murtagh, Astronomical Image and Data Analysis, Springer, 335с., 2006.

**в российских изданиях:**

1. Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия. М.: Наука, 1962; М., Эдиториал УРСС, 2001 (2 изд.).
2. Инфракрасная спектроскопия высокого разрешения. Сборник статей. М.: Мир, 1972. 352 с.
3. Зайдель А.Н., Островский Г.В., Островский Ю.И. Техника и практика спектроскопии. М.: Наука, 1976. 392с.
4. Лансберг Г.С. Оптика. М.: Физматлит, 2003. 848с.
5. Мартынов Д.Я. Курс практической астрофизики. М.: Наука, 1977. 543с.
6. Малышев В.И. Введение в экспериментальную спектроскопию. М.: Наука, 1979. 478с.
7. Морозов А.Н., Светличный С.И. Основы Фурье-спектрометрии. М.: Наука, 275 с., 2006. 275с.
8. Сурков Ю.А. Космические исследования планет и спутников. М.: Наука, 1985.
9. Тимофеев Ю.М., Поляков А.В. Математические аспекты решения обратных задач атмосферной оптики. Изд-во СПбу, 2001. 188с.
10. Тимофеев Ю.М., Васильев А.А., Теоретические основы атмосферной оптики. СПб: Наука, 2003. 474с.
11. Тарасов К.И. Спектральные приборы. Л.: Машиностроение, 1977. 368с.

***Периодические издания:***

Астрономический вестник

Космические исследования

Оптический журнал

Applied Optics

Icarus

Planetary and Space Science

Journal Geophysical Research-Planet

**Составители:**

д.ф. - м.н.

д.т.н.

к.ф. – м.н.

О. И. Кораблев

А. В. Тавров

А. В. Родин

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН)

## АННОТАЦИЯ

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

ДИСЦИПЛИНА

**«ГЕОДИНАМИКА И ГЕОХИМИЯ ПЛАНЕТ И СПУТНИКОВ»**

Направление подготовки 03.06.01 Физика и астрономия  
направленность (профиль)  
01.03.04 «Планетные исследования»

Москва  
2018 г.



# «Геодинамика и геохимия планет и спутников»

## **1. Введение.**

- 1.1 Определение геохимии как естественной истории химических элементов на Земле и в космосе.
- 1.2 Разделы геохимии по методам и объектам. Аналитическая геохимия, изотопная геохимия, физическая геохимия (теоретическая и экспериментальная). Геохимия магматизма, метаморфизма, гидротермального процесса, осадкообразования, гидрогеохимия, геохимия атмосферы, биогеохимия, космохимия, геохимические методы поисков месторождений, геохимия окружающей среды.

## **2. Строение и состав Солнечной системы.**

- 2.1 Планеты земной группы и планеты-гиганты. Астероиды и ядра комет, метеороиды, межпланетная пыль. Особенности элементного и химического состава. Дифференциация вещества в Солнечной системе.
- 2.2 Первичные и дифференцированные объекты. Классификация планетного и метеорного вещества.

## **3. Гипотезы о возникновении и эволюции Солнечной системы.**

- 3.1 Элементный и изотопный состав Солнца и других звезд, обладающих планетными системами. Металличность.
- 3.2 Протосолнечная туманность. Наблюдаемые аналоги. Стадия  $\theta$  Tauri.
- 3.3 Формирование планетезималей и аккумуляция протопланет. Механизм Сафронова. Гравитационная фокусировка. Гидродинамический механизм.
- 3.4 Гипотезы происхождения Луны.
- 3.5 Гипотезы происхождения спутников планет-гигантов.
- 3.6 Гипотезы происхождения транснептуновых объектов и облака Оорта.

## **4. Изотопная геохимия**

- 4.1. Причины смещения изотопных отношений: разделение изотопов легких элементов в ходе физических и химических процессов; термодинамические и кинетические изотопные эффекты; процессы радиоактивного распада.

- 4.2. Физические основы изотопного анализа. Устройство масс-спектрометров. Газофазовый и твердофазовый изотопные анализы.
- 4.3. Изотопная геохронология. Основное уравнение радиоактивного распада.
- 4.4. Используемые изотопные системы. Периоды полураспада. Радиоуглеродный метод.
- 4.5. Калий-аргоновый метод. Понятие геологического возраста. Учет потерь аргона (аргон-аргоновый метод).
- 4.6. Рубидий-стронциевый и самарий-неодимовый методы. Уравнение изохроны.
- 4.7. Причины искажения рассчитанных возрастов: миграция элементов изотопных систем, отсутствие гомогенности в исходном состоянии.
- 4.8. U-Pb и Th-Pb изотопные системы. Используемые минералы (цирконометрия). Методы учета примеси нерадиогенного свинца. Кривая согласованных возрастов. Методы учета потерь свинца. Pb-Pb метод.
- 4.9. Интерпретация геохронологических данных. Возраст Земли и метеоритов.
- 4.10 Радиогенные изотопы как петрогенетические индикаторы.
- 4.11 Геохимия изотопов легких элементов (H, O, S, C, N).

## **5. Внутреннее строение планет**

- 5.1. Гидростатическое равновесие планетных тел. Внутреннее строение Земли и планет земной группы. Дифференциация недр. Литосферы планет земной группы.
- 5.2. Модели внутреннего строения планет-гигантов. Сверхкритическая и металлическая фазы водорода. Внутренние источники энергии в недрах планет-гигантов.
- 5.3. Ледяные мантии и криолитосферы спутников внешних планет.
- 5.4. Криосфера Марса.

## **6. Магнитные поля планет**

- 6.1. Типы магнитных полей в Солнечной системе. Эволюция магнитного поля Земли.
- 6.2. Механизмы динамо. Условия генерации магнитного поля в недрах планет.
- 6.3. Реликтовая намагниченность. Магнитные поля Марса и Меркурия.
- 6.4. Магнитосферы планет.

## **7. Ударные процессы в Солнечной системе**

- 7.1. Морфология и геология ударных кратеров. Земные астроблемы.
- 7.2. Физика ударного процесса. Гидродинамические и термохимические модели.
- 7.3. Ударная дифференциация вещества и ударный метаморфизм. Реголит. Импациты.
- 7.4. Лабораторные методы моделирования ударных процессов. Роль ударных процессов в эволюции Солнечной системы.

## **8. Геодинамика планет и спутников**

- 8.1. Тепловой баланс недр планет. Конвекция, перенос излучения, теплопроводность. Перенос тепла и массы в пористых средах.
- 8.2. Тектоника плит. Границы плит, полюса Эйлера, модели движения на сфере.
- 8.3. Силы, давление, напряжения в литосфере. Упругая деформация плит, динамика бассейнов. Реология.
- 8.4. Тектоника ледяных криолитосфер. Динамика трещин.
- 8.5. Землетрясения. Механизм очага и сейсмические волны. Магнитуда и законы Гутенберга-Рихтера, Омори.
- 8.6. Гипотезы о сейсмической активности планет и спутников. Метеоритные и приливные источники сейсмических возмущений.

## **9. Эволюция химического состава планет и спутников**

- 9.1. Гипотезы о происхождении планетных атмосфер. Механизмы дегазации. Реликтовые атмосферы. Титан.
- 9.2. Диссипация планетных атмосфер. Убегание, спаттеринг. Значение магнитосферы. Изотопное фракционирование атмосфер.
- 9.3. Изменение климата планет. Палеоклимат Земли, Венеры и Марса. Устойчивость климатической системы. Взрывной парниковый эффект на Венере. Антропогенное влияние на климат Земли.
- 9.4. Воздействие атмосферы на состав и морфологию поверхности. Ледники и полярные шапки, дренажные сети, осадки, выветривание.
- 9.5. Обмен веществом в Солнечной системе. Лунные и марсианские метеориты. Проблема переноса биологического материала.

## **Рекомендуемая литература**

### **в зарубежных изданиях:**

Carr M. The Surface of Mars. CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 306 с, 2006  
Encyclopedia of the Solar system (second edition), edited by McFadden L.-A., Weissman P.R., Johnson T.V., Elsevier, 966, 2007.

Greenberg R. Europa – the ocean moon. Search for an alien biosphere. Springer, 380 с., 2005  
B. W. Jones. Discovering the Solar System, Second Edition, WILEY Ltd, England, 451 с., 2007

- McBride N., Gilmour I., An introduction to the solar system, Cambridge University press, 412 с., 2004.
- Imke de Pater, Jack J. Lissauer, Planetary sciences, Cambridge University press, 528 с., 2004
- J.-L. Starck F. Murtagh, Astronomical Image and Data Analysis, Springer, 335с., 2006.
- Lewis J.S. Physics and chemistry of the Solar System. International Geophysics Series, v.87. Elsevier, 2004. 655p.
- The Martian Surface Composition, Mineralogy, and Physical Properties, edited by Jim Bell. CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 636 с, 2008
- THE GEOLOGY OF MARS Evidence from Earth-Based Analogs Edited by M. G. CHAPMAN (United States Geological Survey), CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 460 с, 2007

**в российских изданиях:**

- Альвен Х. Аррениус Г. Эволюция Солнечной системы. М.: Мир, 1979, 511 с.
- Базилевский А.Т. и др. Ударные кратеры на Земле и планетах. М.: Наука, 1983, 200 с.
- Бранлоу А.Х. Геохимия. М.: Недра, 1965, 463 с.
- Додд Р.Т. Метеориты: петрология и геохимия. М.: Мир, 1986, 384 с.
- Галкин И.Н. Внеземная сейсмология. М.: Наука, 1988, 195 с.,
- Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия. М.: Наука, 1962; М., Эдиториал УРСС, 2001 (2 изд.)
- Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. М.: Мир, 1978
- Жарков В.Н., Трубицын В.П. Физика планетных недр. М.: Наука, 1980.
- Космохимия Луны и планет. М.: Наука, 1975.
- Ксанфомалити Л.В. Парад планет. М.: Наука, Физматлит, 1997, 256 с.
- Кузьмин Р.О. Криолитосфера Марса. М.: Наука, 1983, 142 с.
- Кусков О.Л., Хитаров Н.И. Термодинамика и геохимии ядра и мантии Земли. М.: Наука, 1982. 279 с.
- Лаврухина А.К., Колесов Г.М. Образование химических элементов в космических телах. М.: Госатомиздат, 1962, 168 с.
- Планеты и спутники. Сб. под ред. Дж.Койпера и Б.Мидлхерста, М.: Мир, 1963.
- Симоненко А.Н. Метеориты - осколки астероидов. М.: Наука, 1979, 204 с.
- Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. Глобальная эволюция Земли. М.: МГУ, 1991, 446с.
- Сурков Ю.А. Космические исследования планет и спутников. М.:Наука, 1985.
- Тугаринов А.И. Общая геохимия. М.: Атомиздат, 1973, 288 с.
- Фельдман В.И. Петрология импактитов. М.: Из-во МГУ, 1990, 299 с
- Флоренский К.П. и др. Очерки сравнительной планетологии. М.: Наука, 1981, 326 с.

**Периодические издания**

- Journal Geophysical research –Planets  
Journal Geophysical Letters  
Астрономический вестник

**Составители:**

к.ф.-м.н.

А. В. Родин

к.ф.-м.н.

М. В. Герасимов