

В. Н. ЖАРКОВ



**ВНУТРЕННЕЕ  
СТРОЕНИЕ  
ЗЕМЛИ И ПЛАНЕТ**



МОСКВА «НАУКА»  
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ  
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ  
1978

22.65  
ЖЗ5  
УДК 525

Жарков В. Н.

ЖЗ5 Внутреннее строение Земли и планет. —  
М.: Наука. Главная редакция физико-ма-  
тематической литературы, 1978. — 192 с.

В книге излагается современное состояние проблемы внутреннего строения планет Солнечной системы. Рассмотрены вопросы модели внутреннего строения Земли и других планет, их химического состава. Развешиваются основные идеи геофизики. Книга доступна широким слоям читателей среднего образования.

Ж 20605—168  
053(02)-78 194-78

ВВК22.65  
526

20605—168 (94-78)  
Ж 053(02)-78

© Главная редакция  
физико-математической литературы  
издательства «Наука», 1978

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	5	
Введение . . . . .	9	
ЧАСТЬ I		
СТРОЕНИЕ ТВЕРДОЙ ЗЕМЛИ		
Глава 1. Сейсмология . . . . .		12
1.1. Классическая сейсмическая модель Земли Джеффриса — Гутенберга . . . . .	12	
1.2. Сейсмические волны . . . . .	17	
1.3. Сейсмичность Земли . . . . .	30	
Глава 2. Гравиметрия . . . . .		38
2.1. Становление гравиметрии . . . . .	38	
2.2. Гравитационное поле в фигура Земли. Момент инерции Земли . . . . .	40	
2.3. Внешнее гравитационное поле Земли по данным исследований искусственных спутников Земли . . . . .	44	
2.4. Отклонение Земли от состояния гидростатического равновесия . . . . .	47	
2.5. Изостазия . . . . .	49	
Глава 3. Собственные колебания Земли . . . . .		53
3.1. Открытие и общие свойства . . . . .	53	
3.2. Диссипативные свойства земных недр . . . . .	65	
3.3. Динамический модуль сдвига земных недр . . . . .	68	
Глава 4. Магнетизм и электропроводность Земли . . . . .		73
4.1. Магнитное поле Земли . . . . .	73	
4.2. Природа геомагнетизма . . . . .	79	
4.3. Электропроводность Земли . . . . .	89	
Глава 5. Геотермика. Распределение температуры. Температурный поток из недр Земли . . . . .		92
Глава 6. Исследование геофизических материалов при высоких давлениях . . . . .		99
6.1. Геофизические материалы . . . . .	100	
6.2. Статистические исследования . . . . .	103	
6.3. Динамические исследования . . . . .	111	

Глава 7. Модель внутреннего строения Земли	114
7.1. Однородная модель	114
7.2. Реальные модели (распределение плотности, ускорения силы тяжести, давления)	116
7.3. Современные модели Земли	123
7.4. Минералогический состав мантии	129
7.5. Физическая модель Земли	131
ЧАСТЬ II	
СТРОЕНИЕ ПЛАНЕТ И ЛУНЫ	
Глава 8. Строение планет земной группы	144
8.1. Общие сведения и данные наблюдений	144
8.2. Напряжения в недрах Марса и Венеры	145
8.3. Модели внутреннего строения Меркурия, Венеры и Марса	146
Глава 9. Внутреннее строение планет-гигантов	153
9.1. Создание водородной концепции Юпитера и Сатурна	154
9.2. Теория фигуры	157
9.3. Адиабатическая модель	159
9.4. Данные наблюдений	161
9.5. Распространенность элементов и группы космохимических веществ	163
9.6. Уравнение состояния	164
9.7. Модели Юпитера и Сатурна	168
9.8. Модели Урана и Нептуна	173
9.9. Планета Плутон — бывший спутник Нептуна?	173
Глава 10. Внутреннее строение Луны	176
10.1. Сейсмические данные	176
10.2. Фигура и гравитационное поле	184
10.3. Магнетизм Луны	185
10.4. Аэктромагнитное возмущение	187
10.5. Тепловой поток	188
10.6. Луновая хронология	190

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В 1973 г. автор настоящей книги написал популярную брошюру по геофизике, которая в несколько расширенном виде была издана в ГДР. Эти популярные публикации и послужили источниками настоящей книги.

Геофизика является исключительно многоплановой наукой и широкий ее обзор и изложение встречаются определенные трудности. Эти трудности были всегда, но сейчас, когда геофизика сильно разрослась и продолжает расти, все это стало еще более ощутимо.

Современная геофизика не имеет резких границ с астрофизикой Солнечной системы, космохимией, геохимией и геологией. Более того, при решении принципиальных вопросов такие границы приходится стирать.

Далее, очень существенной чертой геофизики является ее очевидное практическое значение: прогноз стихийных бедствий, поиск полезных ископаемых и т. д., что иногда является полным содержанием предмета. Нам кажется, что и романтика космических исследований ослепляет несколько в тени научное значение этого величайшего свершения современности.

Предлагаемая вниманию читателей книга состоит из двух частей. В первой части речь пойдет о внутреннем строении планеты Земля, а во второй рассмотрено строение других пла-

лет и Луны. Разделение книги диктуется именнейшей информацией. О Земле известно несравненно больше, чем о Луне и планетах, поэтому представлялось логичным изложить геофизику на примере Земли. Видимо, со временем физика планет будет излагаться как физика твердых планет земной группы и твердых спутников и физика жидких планет-гигантов.

Наряду с изложением основных разделов физики планетных недр автор старался показать историческую канву событий, хотя здесь и могли быть допущены некоторые промахи.

К сожалению, по многим причинам автор не смог рассказать о самих творцах геофизики. О том, что их склонило заняться изучением планет, о том, как происходит становление ученого-геофизика, как происходит выбор проблем в тот или иной исторический период, связан с какими науками считаются важными и т. д.

Без этих сведений полное представление о геофизике как науке оказывается обедненным. Чтобы как-то сгладить указанный недостаток, приведем один пример такого рода: авторографический отрывок из статьи сэра Гарольда Джеффриса.

«Различные стипендии привели меня в колледж Резерфорда, Ньюкасл (школа второй ступени), колледж Армстронга, теперь Ньюкаслский университет. Там я усовершенствовался по математике и химии в течение трех лет, физике в течение двух лет и геологии в течение одного года. В моей последующей карьере все это было полезно для меня. Я начал интересоваться изучением природы и астрономией в раннем возрасте. Ньюкасл распо-

ложен в провинции, где однодневное путешествие позволяет достичь местности любого геологического периода от Силура до Юры, и субботные экскурсии обогатили меня обильным полевым опытом...

В колледже Святого Джона, Кембридж, я сосредоточился на математике. Я получил премию Смита и стипендию для продолжения исследований за работы по строению Земли и Луны и движению метеорных тел с применением к кольцам Сатурна и планетезимальной теории. После четырех с половиной лет работы в метеорологическом центре в последователно был университетским лектором по математике, лидером<sup>1)</sup> по геофизике и Пломманским профессором астрономии. Я член колледжа Святого Джона с 1914 года.

Когда я начал исследования, институт степеней Доктора философии в Кембридже еще не был основан, дипломные работы выполнялись под руководством консультантов. Я обычно консультировался у профессора Г. Ф. Ньювалла и профессора А. С. Эддингтона, которые, кроме своей основной работы, знали многое и в других областях науки.

Люди могут удивиться, что геофизик может стать профессором астрономии. В действительности в этом нет ничего удивительного. Когда мне было около шестнадцати, мой интерес привлекла популярная книга о приливах сэра Джорджа Дарвина<sup>2)</sup>, а впоследствии и

<sup>1)</sup> 리더 (Reader) — промежуточная ступень между обычным лектором и профессором.

<sup>2)</sup> Дарвин Джордж Говард. Приливы и родственные им явления в Солнечной системе. — М.: Наука, 1965 (Darwin George Howard. The Tides and Kindred Phenomena in the Solar System. — London, 1898).

его работы. Он умер в 1912 году, и я никогда его не встречал. (Эддингтон наследовал ему на кафедре, а я наследовал Эддингтону.) Почти все работы Дарвина были на стыке между астрономией и геофизикой, и я думаю, что около трех четвертей моих работ является продолжением его трудов. Возможно, это было влияние Дарвина, в результате чего астрономия и геофизика были тесно связаны в Королевском Астрономическом Обществе, которое публиковало некоторые из его работ. Общество начало геофизические дискуссии в 1917 году, основано журнал «The Geophysical Supplement to the Monthly Notices» в 1922 году, журнал «The Geophysical Journal» в 1958 году. Я предполагала, что я считался подходящим кандидатом на место Пломбианского профессора по этой причине, но возможно также и потому, что я пытался построить теорию происхождения Солнечной системы, и потому, что вопреки бытовавшему в то время мнению и показал, что внешние планеты должны быть очень холодные. Это было немедленно проверено Кобленцом и Мензелом...». Г а р о л ь д Д ж е ф ф р и с. История жизни (в статье «Развитие геофизики», 1973 г.).

## ВВЕДЕНИЕ

«...Науки, которые не родились из эксперимента, этой основой всех познаний, бесплодны и полны заблуждений...»  
Декарто да Вишну

Изучение внутреннего строения Земли и планет и их эволюции является одной из центральных задач современной науки. Водная и воздушная оболочки нашей планеты, как и твердая кора, являются вторичными продуктами развития Земли: все они выделались из недр нашей планеты на протяжении геологической истории. Поэтому, чтобы лучше понять, как устроены эти три наружные оболочки Земли, ученые изучают строение земных недр. Весь вопрос, грубо говоря, разбивается на два. Первый, более простой, — это собственно вопрос, как устроены недра Земли в настоящее время, второй, более сложный, — как была устроена Земля раньше и какие изменения она претерпела за время своего существования, продолжительность которого составляет примерно 4,6 миллиарда лет.

Важнейшей чертой геофизики — науки, использующей физические методы для изучения Земли, — является то, что по необходимости большой объем работы приходится на теоретические методы, так как непосредственное проникновение в недра Земли невозможно.

Нельзя, конечно, думать, что геофизика — чисто теоретическая наука. Нет, геофизика как отрасль естественных наук основана на экспериментальных геофизических данных, но все эти данные всегда косвенные. Только теоретический анализ геофизических данных позволяет нам судить о тех или иных свойствах земных недр.

Само геофизическое исследование намного сложнее чисто физического исследования. Дело в том, что физик в лаборатории ставит эксперимент так, чтобы ему было удобно изучать ту или иную сторону рассматриваемого явления. Геофизик лишен такой «роскоши». В геофизи-

не большей частью эксперимент ставит сама природа. Так, сейсмические волны возникают при землетрясениях, а электромагнитные зондирования связаны с электромагнитными бурями в верхней атмосфере. Таким образом, геофизик должен дожидаться события (землетрясения или электромагнитной бури), изучить сигнал, который возникает при рассматриваемом явлении, и изучить результаты прохождения таких сигналов через планету с тем, чтобы проанализировать их, сделать необходимые выводы. Этими обстоятельствами и объясняется сложность геофизического эксперимента.

Возникает естественный вопрос: а почему бы в геофизике не поставить такой же планомерный эксперимент, как это принято в физике? Действительно, вместо источника сейсмических волн используем искусственный взрыв, расположим его в районе, где мы хотим провести работу, и разместим регистрирующую аппаратуру наиболее удобным образом. Так, собственно, и поступают в сейсмической разведке подземных ископаемых, особенно в разведке нефти.

Эти же идеи лежали в основе творчества академика Григория Александровича Гамбурцева (1903—1955), который стремился перейти от природного эксперимента к искусственному опыту. Он предложил и развил метод зондирования наружных слоев Земли с помощью сейсмических волн, генерируемых большими зарядами химических взрывчатых веществ (ГСЗ — глубинное сейсмическое зондирование), он также решил просвечивать очаговые зоны землетрясений с помощью искусственных взрывов с тем, чтобы выявить возможное изменение свойств этих зон и на этой основе предлагать землетрясения. Незадолго до своей кончины Г. А. Гамбурцев предложил Ю. П. Булашевичу (ныне чл.-корр. АН СССР) рассмотреть вопрос о разработке механических источников возбуждения сейсмических волн (вибросейсм). Все эти три начинания сейчас получили широкое развитие. По мере роста энергопотенциала нашей цивилизации мы сможем постепенно перейти к глобальному искусственному эксперименту в геофизике. Пока же искусственный эксперимент позволяет изучать только наружную кору Земли. Энергия, выделяемая при землетрясениях, во много тысяч раз превосходит энергию искусственных взрывов (в том числе и атомных) и позволяет пронзондировать всю Землю в целом.

В этой книге предпринята попытка сравнительно подробно рассказать о различных аспектах комплексного геофизического поиска. В связи со сложностью геофизического поиска ученые стремятся использовать все возможности, чтобы получить информацию о земных недрах. Геофизическое исследование всегда комплексное, т. е. ведется одновременно различными методами.

В наше время полное представление о геофизике не может быть составлено, если рассматривать исследование Земли изолированно от исследования планет. По существу, сейчас становятся все более очевидно, что ни один по-настоящему глубокий и принципиальный вопрос, касающийся строения и развития Земли, не может быть решен без привлечения данных о Луне и планетах, метеоритах и астероидах, полученных в последнее время. Поэтому вторая часть книги посвящена строению планет и Луны.