

В книге известного английского металлофизика Р. Хоникомба освещен широкий круг вопросов, связанных с поведением и свойствами различных металлических материалов — чистых металлов и сплавов, монокристаллов и поликристаллических агрегатов, однофазных и многофазных систем — при приложении к ним нагрузки. Различные виды пластической деформации, явления упрочнения, разупрочнения, разрушения рассмотрены с позиций дислокационной теории и реальной дефектной атомно-кристаллической структуры металлов на основе полученных к настоящему времени наиболее существенных экспериментальных данных.

Книга рассчитана на научных работников, инженеров, аспирантов и студентов металлургических и металлофизических специальностей, как изучающих вновь физику прочности и пластичности металлов, так и углубляющих свои знания в этой области.

*Редакция литературы по физике*

## ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА ПЕРЕВОДА

Изучение физики пластической деформации кристаллов давно привлекает внимание исследователей. Однако только в послевоенные годы, в связи с развитием теории дефектов в твердых телах и прежде всего теории дислокаций, в этой области наместились кардинальные сдвиги. В настоящее время не вызывает сомнений, что механические характеристики реальных кристаллических материалов определяются в первую очередь наличием в них структурных дефектов разного типа, перераспределение и взаимодействие которых обуславливают особенности поведения данного материала под нагрузкой при различных температурах. Вскрытие внутреннего механизма наблюдаемых при пластической макродеформации кристаллов изменений их микроструктуры, установление протекающих при этом процессов — главная задача физики пластической деформации кристаллов. Ее решение значительно упрощается благодаря достигнутому в последние годы весьма существенным успехам в развитии и усовершенствовании методов изучения структуры кристаллов в атомных масштабах; это относится главным образом к рентгеновским и электронномикроскопическим методам. Применение указанных методов позволило выявить этапы эволюции дефектов решетки при пластической деформации кристаллов и связать их с величиной и характером нагрузки, а также с температурой. При этом оказалось, что для правильного понимания наблюдаемых явлений недостаточно представлений о дислокациях и их различных комбинациях; необходимо привлечь сведения, относящиеся к точечным, плоским, а также объемным дефектам различного типа, к их взаимодействию друг с другом и с дислокациями.

В книге Хоннкомба рассматривается широкий круг вопросов, касающихся поведения металлов и сплавов при пластической деформации. При этом отличительной особенностью изложения является последовательное сопоставление результатов экспериментов и выводов теории, что позволяет читателю, с одной стороны, уяснить степень обоснованности тех или иных положений теории, а с другой — составить представление о мере надежности приведенных экспериментальных данных.

Весьма важно, что описание пластической деформации монокристаллов и поликристаллов металлов и сплавов тесно связано в книге с рассмотрением вопроса о возникновении и развитии центров нарушения сплошности материала при вязком и хрупком разрушении, подробно проанализированном в конце книги. Последнее обстоятельство придает книге более законченный характер и позволяет лучше увязать излагаемый материал с актуальными практическими вопросами физики прочности.

Трудно назвать какую-либо другую книгу, в которой различные аспекты рассматриваемой проблемы были бы представлены столь же полно и в виде

доступном для читателя, не имеющего специальной подготовки. Однако для чтения книги необходимо, конечно, иметь представление о дефектах строения кристаллов и о физических методах их исследования.

В книге практически отсутствуют ссылки на работы советских ученых, что существенно снижает ее ценность. Чтобы отразить вклад советской науки в разработку физики пластической деформации кристаллов, ниже при описании содержания отдельных глав указаны некоторые работы отечественных авторов, список которых приведен в конце настоящего предисловия. Разумеется, этот список не претендует на полноту.

В гл. 1 дается краткий обзор содержания книги и указываются основные этапы в развитии науки о пластической деформации металлов. Следует отметить, что рентгеновские методы исследования пластической деформации кристаллов впервые были применены А. Ф. Иоффе и М. В. Кирпичевым [1]; Р. И. Гарбер [2] открыл существование «упругих» двойников, а А. В. Степанов [3] предложил концепцию, согласно которой поведение кристалла под нагрузкой определяется возможностью потери кристаллической решеткой устойчивости. К сожалению, автор не касается вопроса о связи поведения металлов под нагрузкой с характерными особенностями их электронной структуры. Анализ этого аспекта проблемы помог бы читателю глубже понять физическую природу рассматриваемых в книге эффектов. Так, например, используя метод псевдопотенциалов, можно с единых позиций вычислять и толковать основные характеристики простых металлов [4], изучать свойства металлов, содержащих структурные дефекты различного типа.

В гл. 2 излагаются общие сведения о деформации чистых металлических монокристаллов. Описываются способы получения таких кристаллов [5, 6], рассматривается кристаллография пластической деформации, анализируются типичные кривые напряжение — деформация для монокристаллов чистых металлов и обсуждается их связь с типом решетки металла [7—11].

В гл. 3. вводятся представления о дислокациях и их различных комбинациях. Введение этих представлений разрешает противоречие между теоретической оценкой прочности металла (см., например, [10]) и механическими свойствами реальных кристаллов. В настоящее время дислокации успешно изучаются экспериментальными методами [12—14]. Имеется большое число теоретических исследований дислокаций и их систем; обзор таких работ примерно на конец 1966 г. дан А. Л. Ройтбурдом [15], а более поздних — А. Н. Орловым [16] (см. также [17]).

Далее в этой главе описываются особенности неконсервативного движения дислокаций [18—25], расщепление дислокаций и образование дефектов упаковки [76]. Следует отметить, что теория псевдопотенциалов позволяет теоретически рассчитать энергию дефектов упаковки в различных металлах [26].

В гл. 4 дается более подробное, чем в гл. 2, описание кривых напряжение сдвига — сдвиговая деформация и выявляемых по ним трех стадий процесса пластической деформации кристаллов. Изучается влияние степени чистоты, ориентировки кристалла, температуры деформации, размера и формы кристалла, а также условий на его поверхности. Следует отметить, что вопросу о роли поверхностных источников пластической деформации посвящены

многие работы советских исследователей [27—30]; исследование поверхностных зародышей сдвига проведено в работах [31, 32].

В гл. 5 рассматриваются существующие теории упрочнения, основанные на дислокационных представлениях, дается анализ физической природы последовательных стадий упрочнения при различных температурах. Связь между изменениями тонкой структуры и сопротивлением пластической деформации металлов и сплавов после упрочнения рассмотрена в работах [33, 34], а различные вопросы динамики дислокаций — в работе [35].

В гл. 6 рассматривается упрочнение твердых растворов, в том числе упорядоченных [77].

В гл. 7 обсуждается влияние выделений второй фазы на развитие пластической деформации монокристаллов сплавов [36—43].

Гл. 8 посвящена рассмотрению неоднородности деформации в монокристаллах. Рентгеноструктурный анализ дает мощное средство изучения этого явления. Так, например, при изгибе кристалла резкие дифракционные пятна размываются в дуги, т. е. возникает астеризм. На связь астеризма с деформацией монокристаллов впервые указал А. Ф. Иоффе [1]. Анализ и количественный расчет астеризма даны в работе [44]. Далее в этой главе анализируется деформация двойникованием (см. [7, 45]) и перемещение дислокаций в ходе этого процесса.

При анализе пластической деформации поликристаллов (гл. 9) естественно возникает вопрос о роли границ зерен. Этот вопрос удобно изучать на бикристаллах или крупнозернистых агрегатах. Результаты исследований таких объектов привели к разработке теории кривой напряжение — деформация поликристаллов на основе анализа свойств монокристаллов. Для выяснения ряда положений теории весьма важно изучение свойств нитевидных кристаллов и армированных материалов [46—48].

Наряду с атомами примесей существенное влияние на механические свойства металлов оказывают и другие точечные дефекты — вакансии и междоузельные атомы [49, 50]. Образование, подвижность и роль этих дефектов описаны в гл. 10.

В гл. 11 подробно описываются процессы возврата и рекристаллизации, определяющие ход восстановления механических свойств кристаллов при отжиге после деформации [51—54].

В гл. 12 рассматриваются вопросы, связанные с созданием преимущественной ориентировки зерен в поликристаллах (получением текстур) [55—57]. Описывается также кратко анизотропия магнитных свойств и теплового расширения.

В гл. 13 речь идет об особенностях пластической деформации металлов при ползучести. Дается подробный анализ кривых ползучести и вкладов в этот процесс различных факторов; рассматриваются также структурные изменения и развитие разрушения вследствие ползучести [58—64].

Заключительные главы 14 и 15 посвящены описанию двух имеющих очень большое практическое значение явлений — усталости и разрушения металлов. Многие детали машин и сооружений подвергаются воздействию циклически меняющихся напряжений. Даже когда максимальные значения таких напряжений меньше предела текучести материала при испытаниях

на растяжение, через определенное число циклов, как правило, наступает разрушение. В гл. 14 описывается поведение монокристаллов в таких условиях. Обсуждаются практические меры предотвращения усталостного разрушения. В гл. 15 анализируется вязкое и хрупкое разрушение, а также условия перехода от одного к другому [68—75, 78].

Согласно современной точке зрения, которая последовательно проводится в книге Хоникомба, основную роль в формировании механических свойств металлов и сплавов играют дефекты (чужеродные атомы, дислокации и т. д.). Это определяет важность исследований механических характеристик металлов высокой чистоты [66, 67] и высокой степени структурного совершенства [46, 47], которые проводятся во все возрастающих масштабах.

Исследования в области физики пластической деформации кристаллов в настоящее время достигли уровня, позволяющего ставить на реальной научной основе задачу, заключающуюся в разработке методов приближения механических свойств реальных металлов и сплавов к их теоретическим значениям.

Настоящая книга, несомненно, представляет интерес не только для широкого круга исследователей, работающих в области изучения механизма пластической деформации кристаллов, но и для инженеров, стремящихся создать новые материалы и рационально использовать уже имеющиеся. Эта проблема стала особенно актуальной в связи с необходимостью удовлетворения нужд новой техники (в первую очередь атомной энергетики и космонавтики). Монография Хоникомба будет весьма полезна также студентам и аспирантам соответствующих специальностей.

Перевод книги выполнен Л. Г. Орловым (предисловие автора, главы 1—8, 10, 11) и О. М. Смирновым (главы 9, 12—15).

*Б. Я. Любое*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Иоффе А. Ф., Физика кристаллов, М.—Л., 1929.
2. Гарбер Р. И., ЖЭТФ, 10, 234, 355 (1940).
3. Степанов А. В., ЖТФ, 20, 1194 (1950).
4. Харрисон У., Псевдопотенциалы в теории металлов, изд-во «Мир», М., 1968.
5. Вигдорович В. Н., Очистка металлов и полупроводников кристаллизацией, М., 1969.
6. Романенко В. Н., Получение однофазных полупроводниковых кристаллов, М., 1966.
7. Классен-Неклюдова М. В., Механическое двойникование кристаллов, М., 1960.
8. Инденбом В. Л., Орлов А. Н., Усп. физич. наук, 76, 557 (1962).
9. Некоторые вопросы физики пластичности кристаллов (сборник статей под ред. М. В. Классен-Неклюдовой), Итоги науки, Физико-математические науки, № 3 (1960).
10. Френкель Я. И., Введение в теорию металлов, изд. 3, М., 1958.
11. Уманский Я. С., Финкельштейн Б. Н., Блантер М. Е., Кишкин С. Т., Фастов И. С., Горелик С. С., Физическое металловедение (Физические основы металловедения), М., 1955.
12. Элементарные процессы роста кристаллов (сб. статей под ред. Г. Г. Леммлейна и А. А. Чернова), ИЛ, М., 1959.
13. Орлов Л. Г., Усиков М. П., Утевский Л. М., Усп. физич. наук, 76, 109 (1962).
14. Инденбом В. Л., статья «Дислокации в кристаллах», Физический энциклопедический словарь, т. 1, М., 1961.
15. Ройтбурд А. Л., дополнение в книге Фридель Ж., Дислокации, изд-во «Мир», М., 1967, стр. 583.

16. Орлов А. Н., вступительная статья к сборнику «Актуальные вопросы теории дислокаций», изд-во «Мир», М., 1968.
17. Косевич А. М., гл. IV в книге Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория упругости, М., 1965.
18. Пинес Б. Я., Усп. физич. наук, 76, 519 (1962).
19. Ройтбурд А. Л., ФТТ, 7, 1142 (1965); 7, 1349 (1965).
20. Ройтбурд А. Л., Зильберман Л. А., ФММ, 21, 647 (1966).
21. Любов Б. Я., Ройтбурд А. Л., ДАН СССР, 169, 826 (1966).
22. Гутникова Г. М., Любов Б. Я., ФТТ, 11, 1245 (1969).
23. Косевич А. М., Сараладзе З. К., Слезов В. В., ЖЭТФ, 52, 1073 (1967).
24. Слезов В. В., ЖЭТФ, 53, 912 (1967).
25. Слезов В. В., ФТТ, 9, 3448 (1967).
26. Краско Г. Л., Телияц В. Н., Позвонкова Р. Т., Заславский Ю. И., ФТТ, 9, 3059 (1967).
27. Лихтман В. И., Ребиндер П. А., Карпенко Г. П., Влияние поверхностно-активной среды на процессы деформации металлов, М., 1954.
28. Ребиндер П. А., Лихтман В. И., Кочанова Л. А., ДАН СССР, 141, 1278 (1956).
29. Рожанский В. Н., Усп. физич. наук, 65, 387 (1958).
30. Лихтман В. И., Щукин Е. Д., Усп. физич. наук, 66, 213 (1958).
31. Степанов А. В., Милькаманович Е. А., ЖЭТФ, 18, 741, 773 (1948); 21, 401, 409 (1951).
32. Степанов А. В., ЖЭТФ, 17, 601 (1947); 18, 741, 776 (1948).
33. Кардонский В. М., Курдюмов Г. В., Перкас М. Д., в сборнике «Проблемы металловедения и физики металлов» (седьмой сборник), 1962, стр. 7.
34. Коган Л. И., Пилецкая И. Б., Саррак В. И., Спасский М. Н., Утевский Л. М., Хашимов Х. Р., Энтин Р. И., в сборнике «Проблемы металловедения и физики металлов» (девятый сборник), М., 1968, стр. 107.
35. Динамика дислокаций, сборник, Харьков, 1968.
36. Любов Б. Я., Шамаков В. А., ФММ, 29, 968 (1968).
37. Любов Б. Я., Кинетическая теория фазовых превращений, М., 1969.
38. Гиндин И. А., Энтин Р. И. и др., ДАН СССР, 178, 3 (1968).
39. Иванова В. С., Гордиенко Л. И., Новые пути повышения прочности металлов, М., 1964.
40. Усиков М. П., Утевский Л. М., Заводская лаборатория, 29, 944 (1963).
41. Носова Г. И., Травина Н. Т., в сборнике «Проблемы металловедения и физики металлов» (девятый сборник), М., 1968, стр. 182.
42. Травина Н. Т., Носова Г. И., ФММ, 29, 564 (1970).
43. Копчев О. Д., в сборнике «Общие проблемы машиностроения», М., 1967, стр. 59.
44. Кожар А. П., ЖЭТФ, 6, 392 (1936).
45. Ройтбурд А. Л., Эстрин Э. И., в сборнике «Металловедение и термическая обработка» (1968), Итоги науки и техники, М., 1970, стр. 5.
46. Кушир И. П., в сборнике «Проблемы металловедения и физики металлов» (девятый сборник), М., 1968, стр. 174.
47. Надгорный Э. М., Осипьян Ю. А., Перкас М. Д., Розенберг В. М., Усп. физич. наук, 67, 625 (1959).
48. Иванова В. С., Ботвина Л. Р., в сборнике «Металловедение и термическая обработка» (1968), Итоги науки и техники, М., 1970, стр. 103.
49. Френкель Я. И., Кинетическая теория жидкости, М., 1945.
50. Дамаск А., Динс Дж., Точечные дефекты в металлах, изд-во «Мир», М., 1966.
51. Горелик С. С., Рекристаллизация металлов и сплавов, М., 1966.
52. Конобеевский С. Т., Мирер И. И., Zs. Kristallographie, 81, 69 (1932).
53. Иверонова В. И., в сборнике «Применение рентгеновских лучей к исследованию материалов», М.—Л., 1949, стр. 34.
54. Коган Л. И., Энтин Р. И., в сборнике «Проблемы металловедения и физики металлов» (второй сборник), М., 1951, стр. 216.
55. Шубников А. В., Основы кристаллографии, М.—Л., 1940.
56. Целиков А. И., Федосов Н. М., Соколов А. А., Прокатка стали, М., 1943.
57. Кудрявцев И. П., Текстура в металлах и сплавах, М., 1965.
58. Розенберг В. М., Ползаучесть металлов, М., 1967.
59. Одинг И. А., Иванова В. С., Бурдинский В. В., Геминев В. И., Теория ползаучести и длительной прочности металлов., М., 1959.

60. Пинес Б. Я., Очерки по металлофизике, Харьков, 1961.
61. Журков С. Н., Вестник АН СССР, № 11, 78 (1957).
62. Иванова В. С. и др., Роль дислокаций в упрочнении и разрушении металлов, М., 1965.
63. Лифшиц И. М., ЖЭТФ, 44, 1349 (1963).
64. Френкель Я. И., ЖЭТФ, 16, 29 (1946).
65. Иоффе А. Ф. и др., Журнал русского физико-химического общества, 56, 489 (1924).
66. Каменецкая Д. С., Пилецкая И. Б., Ширяев В. И., ДАН СССР, 190, 1333 (1970).
67. Ширяев В. И., в сборнике «Проблемы металловедения и физики металлов» (девятый сборник), М., 1968, стр. 166.
68. Саррак В. И., Энтин Р. И., в сборнике «Проблемы металловедения и физики металлов» (седьмой сборник), М., 1962, стр. 64.
69. Орлов Л. Г., Утевский Л. М., в сборнике «Проблемы металловедения и физики металлов» (седьмой сборник), М., 1962, стр. 156.
70. Давиденков Н. Н., Проблема удара в металловедении, М., 1938.
71. Фридман Я. Б., Дроздовский Б. А., Влияние трещин на механические свойства конструкционных сталей, М., 1960.
72. Потак Я. М., Хрупкое разрушение стальных деталей, М., 1955.
73. Саррак В. И., Энтин Р. И., в сборнике «Проблемы металловедения и физики металлов» (девятый сборник), М., 1968, стр. 142.
74. Гликман Л. А., Пэгт В. П., Некоторые вопросы усталостной прочности, 1953.
75. Фридман Я. Б., Теоретические основы конструирования машин, М., 1957.
76. Вишняков Я. Д., Дефекты упаковки в кристаллической структуре, М., 1970.
77. Попов Л. Е., Козлов Э. В., Механические свойства упорядоченных твердых растворов, М., 1970.
78. Финкель В. М., Физика разрушения. Рост трещин в твердых телах, М., 1970.

## ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА

За последние двадцать лет физические основы металловедения существенно прояснились. Одним из наиболее значительных достижений в этой области явилось развитие теории дислокаций, которая позволила рассмотреть природу многих характерных свойств кристаллических твердых тел, в частности их поведение при пластической деформации. По этому вопросу написан уже не один объемистый том, но тем не менее ощущается потребность в книге, содержащей систематическое описание поведения реальных металлов и сплавов при различных видах деформации, а также попытку объяснить его — насколько это возможно — с позиций дислокационной теории.

При написании данной книги я применил тот же подход, который был использован в классическом труде Шмида и Боаса «Пластичность кристаллов», поскольку поведение монокристаллов взято как логическая отправная точка, однако при изложении материала основное внимание уделено послевоенным работам, которые в большом количестве появились в этой области. Результаты этих исследований затем используются для анализа более сложных деформационных явлений в поликристаллических агрегатах, как, например, текстуры, ползучести, усталости и разрушения.

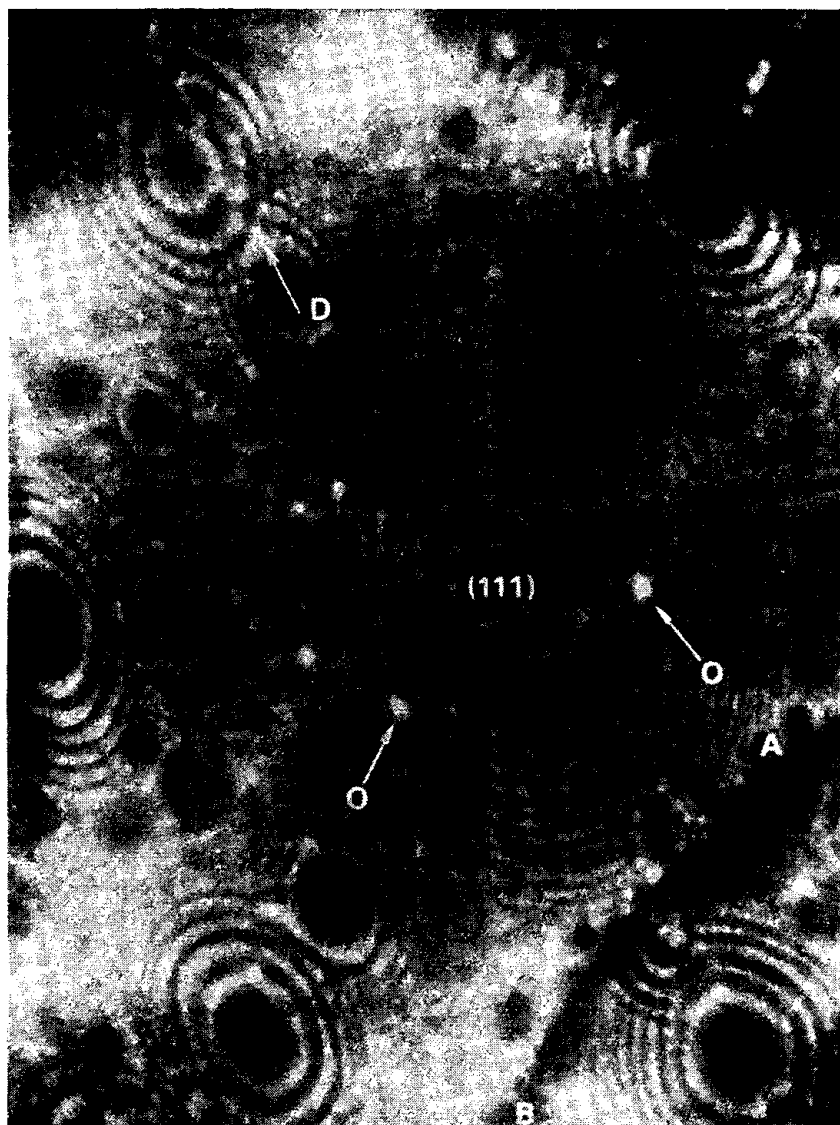
Книга рассчитана на студентов старших курсов металлургических и материаловедческих специальностей университетов и технологических учебных заведений, которым необходимо иметь общую картину пластической деформации металлов, включающую как теорию, так и рассмотрение свойств и поведения металлов. Она может быть полезна также инженерам, давая объяснение основных принципов, определяющих свойства используемых ими материалов. Представленная в книге библиография не является исчерпывающей, но она подобрана так, чтобы обеспечить широкую основу для дальнейшего чтения по данному вопросу. Предполагается, что читатель обладает элементарными знаниями по металлофизике и кристаллографии.

Книга была написана в основном в то время, когда я работал в Шеффилдском университете, и я очень признателен профессору А. Дж. Квореллу и коллегам по отделению металлургии этого университета за полезные обсуждения и поддержку. Я чувствую себя особенно обязанным профессору Е. О. Холлу, который прочел рукопись и сделал много полезных замечаний. Источники всех приведенных в книге рисунков указаны, и я рад принести свою благодарность всем авторам, которые помогли мне при их собирании.

Наконец, я рад воспользоваться благоприятной возможностью, чтобы выразить глубокую признательность моему старому другу д-ру Вальтеру Боасу, который впервые приобщил меня к изучению деформации кристаллов.

*Р. Хоникомб*





Автоотемпленная микрофотография железа.

Округлые области являются выраженными кристаллическими границами. Линия *AB* — граница зерна, светлые пятна (*O*) — внедренные атомы кислорода; в области *D* видны дислокации. Увеличение несколько миллионов.

# Металлолом

Первый научный сайт про металлы в Рунете

Большое спасибо за чтение ознакомительной версии контента с сайта “Металлолом”. Если вы заинтересованы в полной версии, пожалуйста - нажмите кнопку “Facebook” или “Twitter” и поделитесь своей находкой, чтоб остальным было легче найти наш сайт.

После этого вам нужно будет обновить страницу, где вы расшарили ссылку - и полный контент будет доступен вам для чтения онлайн прямо на сайте!

Если вы находите данный ресурс полезным - пожертвуйте, сколько можете

<https://secure.wayforpay.com/payment/mitalolom>



## **Важно!**

Весь контент защищен авторскими правами и служит только для ознакомительных целей - например, когда вам нужно написать реферат или курсовую.

После прочтения и ознакомления, вам нужно будет удалить скачанный контент или оплатить издателю.