

# PRAISE OF CHROMOSOME «FOLLY»

Confessions of an Untamed  
Molecular Structure

Antonio Lima-de-Faria  
*Lund University, Sweden*

# Содержание

---

К читателю . . . . .	5
Вступительное слово . . . . .	7

## Часть 1

Источник «глупости» и причина исповеди . . . . .	9
1. Я — неприметное и непривлекательное создание, накрашенное губной помадой . . . . .	9
2. Говорят, я похожа на сосиску . . . . .	11
3. Клетка — мой замок и моя темница, но, как одалиске в гареме, мне дозволено плавать и танцевать . . . . .	13
4. Мой стриптиз, или как я облачаюсь и разоблачаюсь при каждом делении клетки . . . . .	15
5. Я создала свой собственный мир, полный хитростей, черных ходов и новинок — я необузданный изобретатель . . . . .	19
6. Мое происхождение скромно — в моем устройстве отметины противоречивой природы материи . . . . .	21
7. Источник моей «глупости» — раздвоение личности . . . . .	23
8. Что побуждает меня к исповеди . . . . .	28
9. Я оскорблена и обижена . . . . .	30
10. Мудрость глупости . . . . .	33
11. Научные концепции меняются со временем — природа науки требует замены старых идей, когда новые технологии позволяют проникнуть глубже в тайны материи . . . . .	37
12. Казавшееся нелепым когда-то, оказывается верным годы спустя. Считалось, что ген состоит из белка, но сейчас известно, что это нить ДНК . . . . .	40
13. За последние двадцать лет количество генов человека сократилось с 200 000 до 32 000, и это число продолжает вызывать сомнение . . . . .	41
14. Модели хромосом радикально менялись со временем . . . . .	42
Цитированная литература . . . . .	46
Источники иллюстраций . . . . .	49

## Часть 2

Кого волнует гравитация . . . . .	51
15. Хромосома, ее устройство и работа, идут своим путем — они не подчиняются законам гравитации, магнетизму, теории вероятностей или естественному отбору . . . . .	51
16. Определение гравитации. Законы Ньютона хороши и для планет, и для яблок . . . . .	52
17. Что такое сила? Четыре фундаментальные силы . . . . .	54
18. Законы Ньютона неприменимы в квантовой механике . . . . .	56
19. Не все предметы падают без опоры . . . . .	57
20. Подъем древесного сока — другой необъясненный феномен. . . . .	57
21. Неизвестный процесс определяет, какая клетка будет расти по направлению силы тяжести, а какая — против . . . . .	60
22. Физики строят антигравитационные устройства, заставляющие парить лягушек и растения . . . . .	63
23. Атомы скрывают множество свойств, способных объяснить механизмы процессов в живой материи, или жидкий гелий может бить из колбы фонтаном . . . . .	64
24. Левитация металлов — невозможное становится возможным . . . . .	66
25. Животные, как и растения, создали приспособления, противодействующие тяготению . . . . .	67
26. Между сердцем и головой жирафа — больше двух метров . . . . .	69
27. Хромосомы не следуют законам Ньютона — движение хромосом «обходит» силу тяжести . . . . .	72
28. Хромосомы движутся во все стороны света . . . . .	73
29. Направление движения запрограммировано в организме . . . . .	73
30. Устройства, благодаря которым хромосома движется . . . . .	75
31. В ядре хромосомы движутся, как рыбки в аквариуме, без помощи нитей веретена . . . . .	77
32. Автономия хромосом многогранна — концы хромосом могут перехватывать у веретена функцию подвижности . . . . .	78
33. Хромосомы, унаследованные от отца, могут быть направлены в другой «отсек», нежели унаследованные от матери . . . . .	80
34. Как нормально двигаться без путеводных звезд и центросом . . . . .	80
35. Репликация ДНК пренебрегает тяготением . . . . .	82
36. Кристаллизация минералов также пренебрегает тяготением и включает стадию массового копирования . . . . .	83

37. Содержимое яйца вращается, а клетки эмбриона мигрируют, независимо от тяготения . . . . .	85
38. Раковины улиток могут быть закручены вправо или влево — направление определяется генами, которые устанавливают ось клеточного деления независимо от тяготения . . . . .	86
39. Откровение: хромосоме не нужны сильные магниты и сверхнизкие температуры, чтобы ускользнуть от действия тяготения . . . . .	88
40. Богини не следуют земным законам . . . . .	88
Цитированная литература . . . . .	90
Источники иллюстраций . . . . .	92

### Часть 3

Кого волнует случайность . . . . .	95
41. Сначала случайность была чужда науке . . . . .	95
42. Случайность — экономическая концепция XVII столетия . . . . .	96
43. Случайность — синоним незнания: «глупость вероятности» . . . . .	101
44. Понадобилось 20 лет, чтобы показать, что считавшиеся случайными события, происходящие с хромосомами, на самом деле запрограммированы . . . . .	102
45. Передача наследуемых признаков — от путаницы до предсказания . . . . .	103
46. Мутация — главный пример случайного события . . . . .	104
47. Как господствующий стиль привел к стильным результатам, или как случайные мутации оказались неслучайными . . . . .	104
48. Случайные перестройки направляются мобильными элементами . . . . .	107
49. Повторяющиеся элементы человеческого генома оказались не мусором, а кладезем информации . . . . .	108
50. Гены со сходными функциями не обязательно расположены рядом — случайные мутации и перестройки разрушат любой возможный порядок . . . . .	109
51. Оказывается, гены состоят из высокоорганизованных последовательностей «станций» ДНК, ограниченных явными сигналами начала и конца . . . . .	111
52. Ген никогда не одинок . . . . .	116

53. Периодическая упаковка ДНК в хромосомах оказалась предсказуемой . . . . .	116
54. Надлежащее движение хромосом при клеточном делении обеспечивается коррекцией неверных присоединений к аппарату подвижности . . . . .	117
55. Клетки чувствуют и останавливают бесконтрольные деления, обусловленные сигналами раковых опухолей. Более того, РНК могут выключать гены. . . . .	118
56. Предотвращение неверного спаривания и рекомбинации хромосом . . . . .	119
57. Броуновское движение — ловушка для физика . . . . .	122
58. Клетка считалась гороховым супом, но у большинства молекул есть адрес. . . . .	123
59. «Генетический код, определенно, не случаен» . . . . .	124
60. В беспорядке — шум, в порядке и единстве — музыка . . . . .	127
61. Разница между генетическим шумом и генетической музыкой . . . . .	127
62. Встречаются не все возможные «ошибки» . . . . .	128
Цитированная литература . . . . .	129
Источники иллюстраций . . . . .	131

## Часть 4

Кого волнует естественный отбор . . . . .	133
63. Естественный отбор — концепция политическая, а не научная. . . . .	133
64. Три мифа в науке: флогистон в химии, эфир в физике, отбор в биологии . . . . .	136
65. Определения естественного отбора . . . . .	138
66. Отбор — не материальная субстанция, которую можно измерить . . . . .	139
67. Различие между эволюцией и дарвинизмом . . . . .	140
68. Достоинства и ограничения дарвинизма . . . . .	141
69. Объяснение эволюции на основе физико-химических процессов . . . . .	141
70. Как хромосома избегает отбора . . . . .	142
71. Хаотичная хромосома не может избежать отбора, а организованной ничего не остается, кроме как обойти его. . . . .	143

72. Для самосохранения, новаций и исследований хромосома не нуждается в отборе . . . . . 144
73. Механизмы репарации обеспечивают поддержание порядка, действуя на разных молекулярных уровнях, — синтез ДНК, РНК и белка контролируется по-разному . . . . . 144
74. Человек не может существовать без репарации ДНК . . . . . 145
75. Целостность РНК, необходимая для нормального функционирования клетки, поддерживается особым типом репарации . . . . . 147
76. РНК-надзор — дополнительный механизм, улучшающий безопасность путем контроля качества . . . . . 149
77. Молекулярные шапероны — это белки, обеспечивающие преобладание правильной сборки молекул . . . 150
78. Как сбить с толку эволюциониста.  
Яйцо учит курицу: предковая РНК может восстановить исходную последовательность ДНК . . . . . 154
79. Новаторство через создание новых генов . . . . . 155
80. Разведка новых функциональных возможностей ведется изменением генетических путей . . . . . 156
81. Как плазмиды и вспомогательные хромосомы избегают отбора . . . . . 157
82. Есть гены, способные «жюльничать» с естественным отбором . . . . . 158
83. Хромосома может «чувствовать» и регулировать количество генов, и переключаться на гены, способствующие выживанию . . . . . 159
84. Множество защитных механизмов, созданных хромосомой, «делают естественный отбор невозможным» . . . . . 160
85. Агрегация и клеточная адгезия слизевика *Dictyostelium* использует те же химические решения, что и эмбрионы высших организмов . . . . . 161
86. Яйцо — это кладезь информации, приготовленный материнскими хромосомами; так гарантируется идентичность строения тела потомка . . . . . 162
87. Генетический код не содержит прямой информации для построения организма — создание этой «дорожной карты» в руках других молекулярных процессов, направляющих развитие . . . . . 163
88. Координацией информационных РНК занимаются малые клеточные РНК, которым раньше не уделяли внимания . . . . . 164

89. Экспериментально продемонстрирован механизм, ответственный за постоянство формы . . . . .	165
90. Радикальные преобразования в зародыше управляются определенными белками . . . . .	166
91. Клетки одной группы меняют форму, темп и направление развития своих соседей . . . . .	168
92. Хромосома обеспечила организму защиту не только от внутренних ошибок, но и от внешних врагов . . . . .	172
93. Смерть клетки так же запрограммирована, как и жизнь . . . . .	173
94. Клетки могут совершить самоубийство, но амеба потенциально бессмертна . . . . .	174
95. И у клетки, и у хромосомы безошибочная память . . . . .	175
96. Невеста Людовика XV могла родить... кролика . . . . .	177
97. Почему женщина не рождает мышь . . . . .	181
Цитированная литература . . . . .	183
Источники иллюстраций . . . . .	189

## Часть 5

Кого волнует магнетизм . . . . .	191
98. Магнетизм и электричество — два проявления одного явления . . . . .	191
99. Бактерии, пчелы и голуби ориентируются по магнитному полю . . . . .	192
100. Клетки вырабатывают электричество и создают магнитное поле . . . . .	196
101. Если магнит разделить на части, каждый фрагмент ведет себя как целый магнит с новыми северным и южным полюсами, а из малых магнитов можно собрать один большой . . . . .	198
102. Если оплодотворенное яйцо разделить на отдельные клетки, каждая клетка ведет себя как целое яйцо, давая начало отдельному зародышу . . . . .	199
103. Отдельные зародыши, слитые вместе, образуют один нормальный организм . . . . .	201
104. Если хромосому разделить на части, каждый фрагмент ведет себя как целая хромосома, при необходимости создавая новые теломеры и центромеры . . . . .	204

105. Хромосомы могут объединяться и распадаться, сохраняя свои генетические свойства — у оленя может быть 35 или только 3 хромосомы . . . . .	205
106. У муравья может быть одна-единственная хромосома, а может и 94 . . . . .	209
107. Растения одного рода могут иметь и 4, и 36 хромосом . . . . .	210
108. У одноклеточного может быть две хромосомы, но может и 500 . . . . .	211
109. Малые хромосомы обязательно присутствуют в наборе хромосом птиц и растений . . . . .	211
110. Разделение хромосом на меньшие, равно как их объединение, следует вполне определенным правилам . . . . .	212
111. Общие свойства магнитов и хромосом могут иметь корни в полярности, заложенной на уровне ДНК . . . . .	214
Цитированная литература . . . . .	217
Источники иллюстраций . . . . .	219

## Часть 6

Биологический порядок есть результат самосборки, а самосборка есть результат узнавания на атомарном уровне . . . . .	221
112. Чем часы и прочие машины отличаются от клеток . . . . .	221
113. Определение самосборки и ее основные свойства . . . . .	222
114. Механизм, ответственный за самосборку, не зависит от внешней информации . . . . .	224
115. Самосборка фермента происходит столь быстро, что занимает меньше времени, чем синтез его полипептидной цепи . . . . .	226
116. Никто не верил в способность вирусов к самосборке. . . . .	228
117. Программа самосборки фага Т4 описана до мельчайших деталей . . . . .	229
118. Самосборку рибосом можно провести в пробирке . . . . .	231
119. Самосборка хромосомной фибриллы и других структур хромосомы, участвующих в ее движении . . . . .	232
120. Отдельная клетка губки содержит всю информацию для образования полноценного организма . . . . .	234
121. Гидра с ее сложными тканями может собраться из суспензии клеток . . . . .	234

122. <i>Слизевик Dictyostelium</i> — впечатляющий пример способности клеток к самоорганизации. . . . .	236
123. Самосборка клеток при формировании ткани напоминает кристаллизацию из раствора . . . . .	237
124. Самосборке присущи безошибочная сила и точность — ядерная оболочка аккуратно восстанавливается несчетное количество клеточных делений. . . . .	239
Цитированная литература . . . . .	241
Источники иллюстраций . . . . .	244

## Часть 7

Откуда взялась хромосома и что с ней будет . . . . .	245
125. «Откуда мы пришли? Кто мы? Куда мы идем?» Картины происхождения жизни и хромосомы . . . . .	245
126. Происхождение клетки и хромосомы неизвестно . . . . .	248
127. Возникновение хромосомы может восходить к периодичности свойств химических элементов . . . . .	250
128. На уровне химической периодичности есть аномалии, но альтернатив немного . . . . .	254
129. Уникальное положение атомов, составляющих клетку и хромосому, в таблице Менделеева. Нет никаких данных о том, что законы природы внезапно изменились при появлении хромосомы . . . . .	255
130. Эволюционные решения перед появлением на сцене ДНК . . . . .	257
131. Роль ДНК в наследовании не так велика, как мы привыкли верить . . . . .	262
132. Весь человеческий геном можно упаковать в одну хромосому. . . . .	264
133. Куда движется хромосома? . . . . .	265
134. В физике еще не все открыто, но она может подсказать ключ к поведению хромосомы . . . . .	266
Цитированная литература . . . . .	270
Источники иллюстраций . . . . .	273
Словарь терминов . . . . .	275
Предметный указатель . . . . .	278

Начинать книгу с обращения к читателю, возможно, не совсем уместно, однако название книги настолько нетрадиционно, что требует некоторого объяснения.

Почему столь серьезная тема, как молекулярная организация хромосомы, представлена в форме сатиры? Причина проста, хотя и не очевидна.

С одной стороны, за двумя Мировыми войнами последовал длительный период холодной войны, характеризовавшийся жестокой экономической и политической конфронтацией, сузившей пространство «интеллектуального маневра».

С другой стороны, глобализация привела к значительному экономическому и технологическому росту, сделавшему возможной реализацию крупномасштабных проектов. Однако необходимым элементом этих проектов является получение практической пользы, что потребовало направить научные усилия в определенное русло.

Следующими шагами стали поглощения малых научных издательств ведущими международными издательскими концернами, а также слияния самих этих издательских гигантов, что повлекло за собой снижение разнообразия мнений. То же происходило и с научными журналами. Возможности для публикаций сократились до нескольких ведущих журналов, а статьи из низкоранговых не цитируются.

Отсутствие альтернатив для публикации результатов выдающихся ученых из США и Великобритании, понимая сложившуюся ситуацию, предложили некоторые изменения. Но их воплощение в жизнь столкнулось с проблемами. Лоуренс в 2003 году констатировал: «Журнал *Nature* сейчас получает около 9000 рукописей статей в год (что вдвое превосходит аналогичный показатель 10 лет назад) и вынужден отклонять около 95% биомедицинских ста-

тей» [2]. «Множество проблем при публикации научных статей, – добавляет ученый, – Способствует формированию антинаучной культуры».

Ситуация еще больше осложняется, когда в дело вступают правительственные интересы. В свете таких стремительных изменений журнал *New Scientist* не смог не опубликовать в 2007 году редакторскую колонку под заголовком «Грязные игры. Если наука не вписывается в ваше политическое кредо — подавляйте ее» [1]. Эта статья ссылается на «Атмосферу давления» — доклад, опубликованный в 2007 году Союзом обеспокоенных ученых (Union of Concerned Scientists) и Правительственной программой подотчетности (Government Accountability Project). Колонка заканчивалась выводом: «Все мы знаем, что результаты научных исследований используются или игнорируются правительствами в зависимости от идеологических задач». То же самое делают и исследователи, чьи работы финансируются государственными фондами.

По-видимому, сложившийся в западном обществе идеологический вакуум, который проявляется в различных культурных и научных аспектах, обусловлен несколькими факторами.

Эта книга для тех, кто осознал, что научное познание — непрерывный процесс, который в каждый конкретный момент предлагает только частичное объяснение известных явлений. Книга адресована тем пытливым умам, которые испытывают сомнения в правильности доминирующих красиво сформулированных идей и ищут альтернативные объяснения.

Дорогой читатель, если твой разум замкнут на традиционные позиции в науке, отложи эту книгу. Более того, если твоя позиция — эскапистская и ретроградная, это не та книга, которую ты искал.

## Цитированная литература

1. Editorial (2007) Dirty tricks. If science doesn't suit your political viewpoint, suppress it. *New Sci* (Feb. 3rd 2007): 5.
2. Lawrence P. A. (2003) The politics of publication. Authors, reviewers and editors must act to protect the quality of research. *Nature* **422**: 259–261.

## Вступительное слово\*

---

Я постарался по возможности не использовать специальных терминов. Там же, где избежать этого не удалось, все термины объяснены. *Цитология* — это изучение структуры и функций клетки, а *генетика* занимается наследственностью. В 1960-х годах благодаря появлению новых биохимических методов исследования в сочетании с электронной микроскопией и методом введения радиоактивных меток цитология и генетика были объединены на этой новой почве, в новую дисциплину — молекулярную цитогенетику. Два десятилетиями позже это научное направление стало широко известно как молекулярная биология.

**Хромосома** — наиболее важная из всех клеточных органелл, основной носитель генетической информации. У организмов, клетки которых лишены ядер (такие существа называются «прокариоты»), например у бактерий, хромосома — это кольцевая молекула ДНК, свободно плавающая в цитоплазме. С некоторыми ее частями связаны молекулы белков. У организмов, имеющих клеточное ядро («эукариоты»), хромосома — нитевидная структура, состоящая из скелетных белков, основных белков (которые называются «гистоны») и ДНК. Именно ДНК несет генетическую информацию. Помимо ядра, в эукариотической клетке есть и другие органеллы — митохондрии и хлоропласты, содержащие свои собственные хромосомы в виде кольцевых молекул

---

\* Внимательный читатель, безусловно, будет озадачен некоторыми несоответствиями и нестыковками, в том числе фактического характера. Разумеется, это не ускользнуло и от нашего внимания. В некоторых случаях эти неточности явно допущены автором сознательно, в целях упрощения чтения и понимания книги. Иногда мотивы не столь ясны. Тем не менее после длительных раздумий мы решили не вмешиваться в авторский текст и переводить его как есть. Воля автора — закон для переводчика. — *Андрей Быстрицкий, Сергей Разин.*

ДНК, которые также несут генетическую информацию. Как правило, эти хромосомы меньше, чем расположенные в ядре. В любом случае генетическая информация закодирована последовательностью оснований в цепи ДНК.

Передача генетической информации с ДНК происходит путем создания информационной РНК, последовательность оснований которой комплементарна таковой в ДНК. Этот процесс носит название «транскрипция» и в свою очередь, приводит к синтезу определенного белка («трансляции»). Процесс может быть обращен вспять, когда РНК транскрибируется в молекулу ДНК с помощью фермента обратной транскриптазы; эти события происходят при некоторых вирусных инфекциях.

*Антонио Лима-де-Фариа*

## Источник «глупости» и причина исповеди

---

### 1. Я — неприметное и непривлекательное создание, покрашенное губной помадой

Я столь неприметна, что никому не различить меня невооруженным глазом. Моя длина обычно от 0,001 до 0,01 мм.

Столетиями никто не подозревал о самом моем существовании. Вот почему меня не разыскать на древнеегипетских настенных росписях о травах и зверях. Вот почему меня не найти в Сикстинской капелле на фресках Микеланджело о сотворении мира. И вот почему уже в новые времена меня нет ни на одной из 20 000 работ Пикассо.

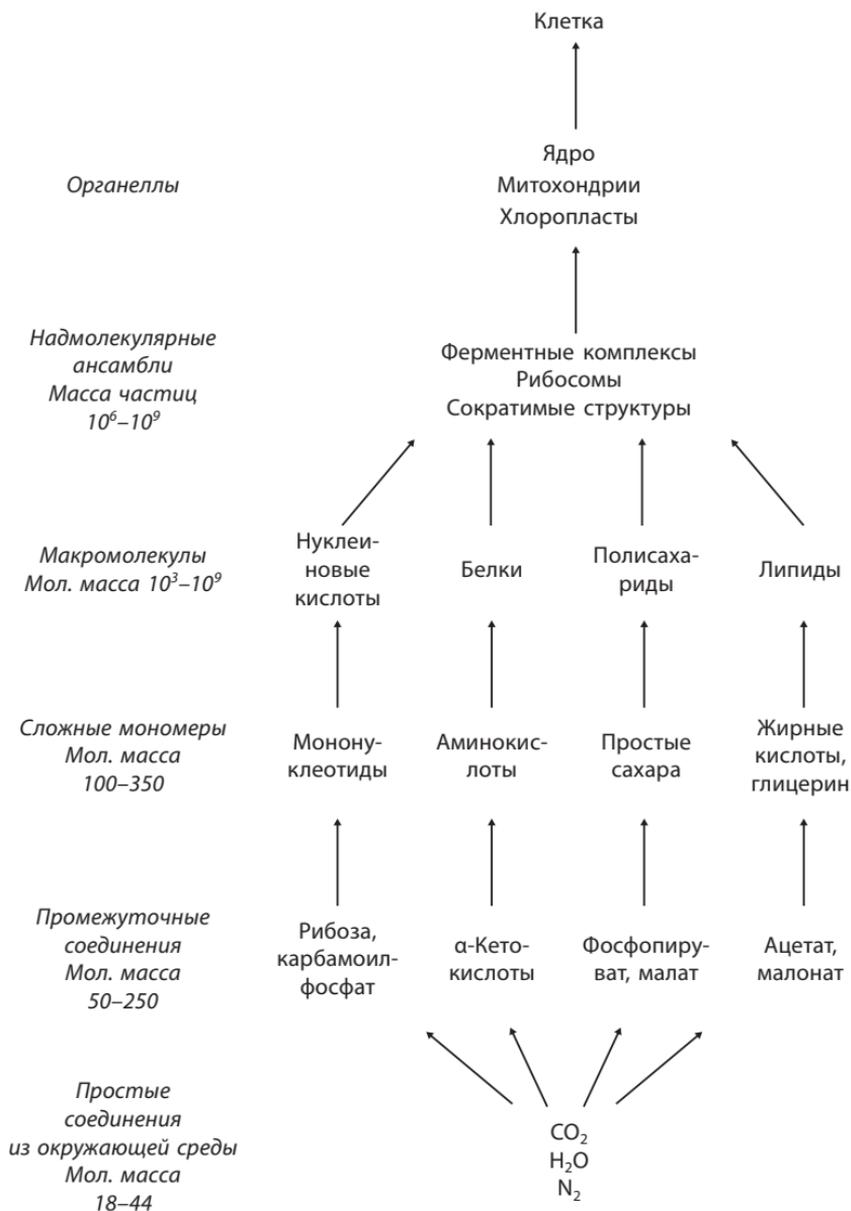
Никто не подозревал о моем существовании, пока не был изобретен микроскоп, способный увеличить вещи в 1000 раз.

Но это был нелегкий путь. Надо было разбить органы и ткани растений и животных до тех «атомов живого», которыми являются клетки. И клетки тоже надо было разбить, чтобы в самых их недрах найти меня в компании с другими неуловимыми молекулярными структурами (рис. 1.1).

Заточенная в этой темнице, повсюду окруженная толстыми мембранами и стенами, я смотрюсь бледной и прозрачной, и сложно отличить меня от окруженья моего.

Важные дамы из высшего общества окрашивали щеки и губы кармином, который добывали из букашек, обитаю-

щих на кактусах тропической Америки. А если каплю кармина капнуть на раздавленную клетку, я становлюсь розовой — и различимой.



Кармином красились уже русская императрица Екатерина Великая (1729–1796) и маркиза де Помпадур (1721–1764). И тогда же натуралисты нашли на снежных склонах Альп прекрасные синие цветы горечавки. Экстракт этих цветов придает мне выразительный пурпурный цвет. А позже я надевала роскошные красный, фиолетовый, зеленый цвета и даже, в наше время, сверкающие флуоресцентные. Я представляла столь же яркой, как оперение тропической птицы (рис. 1.2)!

Мне так к лицу эти модные одежды, что немецкий цитолог Вальдейер назвал меня «хромосома» от греческих слов «хрома» — «цвет» и «сома» — «тело» [42]. Было это в 1888 году. Это имя настолько подошло мне, что меня зовут так и по сей день.

## 2. Говорят, я похожа на сосиску

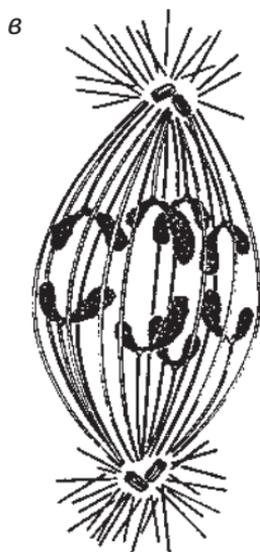
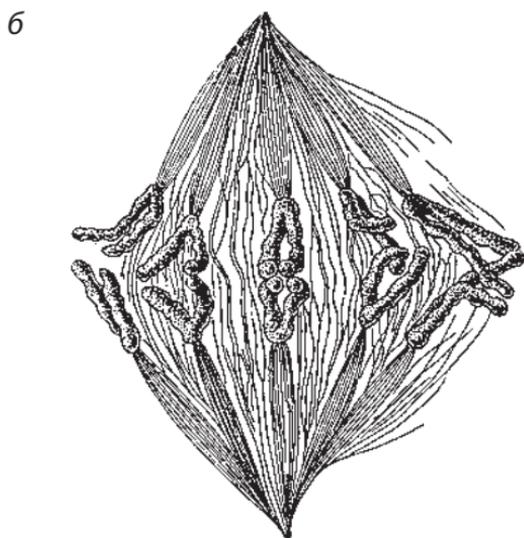
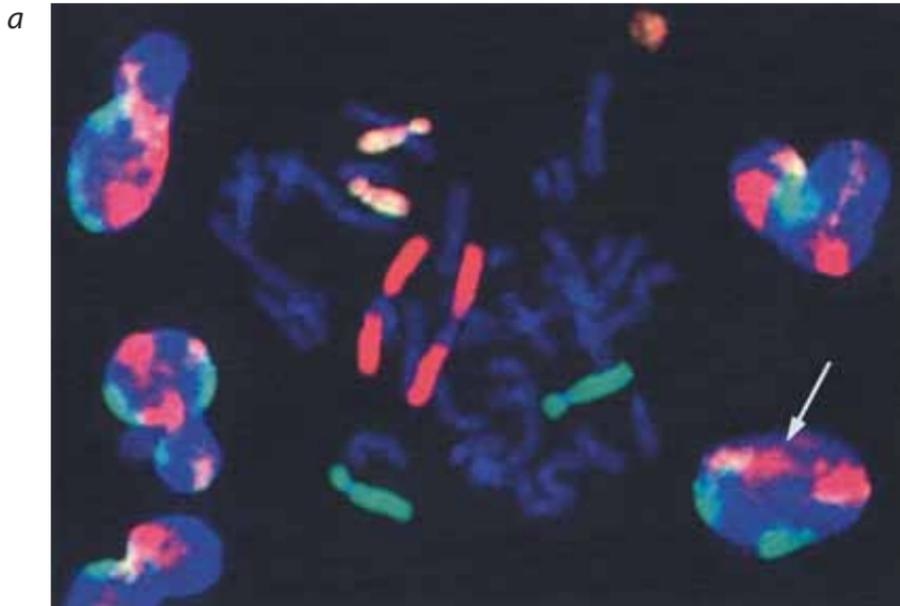
Но еще до покраски меня пропитали спиртом, формалином и другими веществами, чтобы сохранить мое тело. По сути меня забальзамировали, как бальзамировали египетские мумии, чтобы сохранить их на тысячелетия в саркофагах. Столь решительное обхождение спутало мою внутреннюю структуру, а внешнюю поверхность сделало гладкой, как саркофаг мумии. Во время клеточного деления, когда я лучше всего видна, я была похожа на вытянутый цилиндр (рис. 1.2).

---

### ◀ Рис. 1.1. Последовательные уровни организации клетки.

Предшественниками крупных молекул являются простые соединения в окружающей среде. Затем из сложных мономеров образуются макромолекулы — нуклеиновые кислоты, белки, полисахариды и липиды, из которых в свою очередь формируются надмолекулярные ансамбли, такие как рибосомы, где идет биосинтез белка. Следующий шаг — органеллы, и, наконец, сама клетка. Хромосомы есть в ядре, митохондриях и хлоропластах. Митохондриальные и хлоропластные хромосомы — маленькие рудиментарные структуры; основная генетическая информация организма содержится в хромосомах ядра

Я похожа, если позволено будет прибегнуть к гастрономическим терминам, на сосиску или даже на связку сосисок с перетяжкой посередине, там, где расположена моя центромера — место, важное для моего движения. Эта перетяжка делит мое тело на то, что цитологи называют



«плечами» — хотя у меня нет ни плеч, ни рук, ни ног. И более того, если у сосиски есть кожица, то у меня, на удивление, нет даже внешней мембраны. Много лет цитологи были уверены, что у меня со столь четко очерченным телом должна быть плотная оболочка. Этим я отличаюсь от прочих клеточных органелл. Мои границы — продукт моего внутреннего молекулярного устройства.

### 3. Клетка — мой замок и моя темница, но, как одалиске в гареме, мне дозволено плавать и танцевать

Клетка — мой замок, но и, несомненно, моя тюрьма: мне никогда не выбраться, и никогда я не знала другого обиталища. Я приговорена к этому вечному заточению. Но не так все мрачно: в этих стенах я развлекаюсь множеством забав.

◀ **Рис. 1.2.** Окрашенные хромосомы и перемещения хромосом при делении клетки.

*а* — в центральной части расположена так называемая метафазная пластинка — все 46 хромосом человеческой клетки (по 23 от матери и от отца) в состоянии наибольшей компактности разместившиеся в экваториальной части клетки перед тем, как разойтись по дочерним клеткам. Применена окраска, при которой большинство хромосом слабо окрашено в синий цвет, а некоторые пары хромосом окрашены ярко: хромосомы 12 — в желтый цвет, хромосомы 1 — в красный и хромосомы 4 — в зеленый. Слева видны три, а справа — два ядра дочерних клеток на разных стадиях формирования и расхождения. В ядрах хорошо различаются области, занимаемые разными хромосомами. Фотография любезно предоставлена Н. Scherthan, Мюнхен, ФРГ.

*б* — хромосомы делящейся клетки пыльца лилии. Своей средней частью, где расположена центромера, хромосомы присоединяются к нитям веретена деления, которые тянут дочерние хромосомы к противоположным полюсам клетки. Как и у других растений, у лилии нет астеров веретена и центриолей.

*в* — деление животной клетки. По сравнению с растениями появились два новых компонента веретена: звезды (нити, расходящиеся от полюсов веретена во все стороны, а не только к хромосомам) и центриоли (парные органеллы на полюсах, от которых расходятся и нити веретена, и звезды)



**Рис. 1.3.** Хромосомы так же заточены в клетке, как рыбы в аквариуме.

Хромосомы процветают в своем мирке, но гибнут за его пределами. «Красные рыбки» французского художника Анри Матисса (1869–1954), работа 1911 г.

Посреди клетки — большой бассейн наподобие шара. Его называют «ядро». Основное время я там, плаваю из стороны в сторону, как рыбка в аквариуме (рис. 1.3). Я блистала в фильмах, элегантно кружа, как одалиска в восточном гареме, в том, что называют «ядерный сок».

Но все течет, все меняется. Однажды стены этого уютного аквариума падут, и я окажусь в неприветливой цитоплазме. Она гораздо более вязкая, чем моя предыдущая обитель.

Эта книга для пытливых умов, подвергающих сомнению нерушимость господствующих идей и ищущих новых объяснений.

При изучении хромосомы на молекулярном уровне оказывается, что она, как необузданный изобретатель, создала свой собственный мир, полный хитростей, черных ходов и инноваций. Своим поведением хромосома десятилетиями путала генетиков. Пластична ли она, метаясь в бесконечных мутациях и перестройках, или статична, сохраняя основы своей структуры и функций с самой зари клеточной жизни? Молекулярные биологи, озадаченные поведением хромосомы, называли ее мусором и даже паразитом. Более того, хромосома считалась пассивной клеточной органеллой, подверженной случайным мутациям и отданной на милость отбора.

Опираясь на достижения молекулярной биологии, автор увлекательно рассказывает о конфликте двух крайностей, лежащих в основе «глупости» хромосомы, и представляет оригинальный взгляд на эту органеллу и неожиданные следствия из него, касающиеся физики, генетики и теории эволюции.