



АНДРЕЙ ШЛЯХОВ

# ГЕНЕТИКА НА ПАЛЬЦАХ

«ЛЮК, Я ТВОЙ  
ОТЕЦ»



ИЗДАТЕЛЬСТВО АСТ  
МОСКВА

УДК 575  
ББК 28.7  
Ш68

*Художественное оформление Яны Половцевой*

**Шляхов, Андрей Левонович**

Ш68 Генетика на пальцах/ Андрей Шляхов. — Москва: Издательство АСТ, 2022. — 288 с.: ил. — (Наука для вундеркинда).

ISBN 978-5-17-145162-2

Генетику принято считать трудной для понимания, но на самом деле все логичное понять легко, если двигаться в правильном направлении – от простого к сложному. Эта книга как раз так и написана. Она познакомит вас с основами генетики и многочисленными способами ее практического применения, а также даст научные ответы на имеющиеся у вас вопросы.

Чем ДНК отличается от РНК? Сколько разновидностей белков синтезируется в организме человека? Как передаются мутации? Какова вероятность наследственной предрасположенности к тем или иным заболеваниям? Когда рождается мальчик, а когда – девочка? В чем суть естественного отбора? Как произошли вирусы? Ответы на эти и другие вопросы вы найдете в этой увлекательной книге.

**УДК 575**  
**ББК 28.7**

ISBN 978-5-17-145162-2

© А.Л. Шляхов, 2022

© Издательство АСТ, 2022

# Оглавление

Предисловие.....	5
Глава 1. Две кислоты, без которых не было бы жизни .....	8
Глава 2. Гены и их свойства .....	18
Глава 3. «Ядерная» генетика .....	29
Глава 4. Нюансы приспособления к условиям окружающей среды .....	47
Глава 5. Хромосомная теория наследственности и кроссинговер .....	57
Глава 6. Мутации.....	70
Глава 7. Горизонтальный перенос генов .....	99
Глава 8. Методы генетического анализа.....	106
Глава 9. Способы размножения живых организмов и генетика пола .....	120
Глава 10. Законы Менделя. Доминантные и рецессивные признаки. Сцепленное наследование.....	141
Глава 11. Эпигенетика и материнский эффект.....	166
Глава 12. Генетика и эволюция .....	179
Глава 13. Генная инженерия и клонирование .....	196

Глава 14. Медицинская генетика .....	212
Глава 15. Вредны ли продукты питания, полученные из генетически модифицированных организмов? .....	221
Глава 16. Генетическая дактилоскопия и палеогенетика .....	227
Глава 17. Психогенетика — генетика поведения человека .....	239
Глава 18. Генетика вирусов .....	248
Глава 19. Генетическая география, или Картирование генов .....	266
Глава 20. Экологическая генетика .....	272
Приложение. Для желающих вникнуть в детали экспрессии .....	278
Послесловие .....	287

*«Во всем должен быть порядок»*

Народная мудрость

# ПРЕДИСЛОВИЕ

Все живые организмы обладают двумя чудесными свойствами — наследственностью и изменчивостью. Чудесными (в переносном, разумеется, смысле) эти свойства называются потому, что благодаря им на нашей планете существует такое невероятное многообразие жизни.

Наследственностью называют способность живых организмов передавать свои признаки следующему поколению. Дети похожи на родителей...

Дети похожи на родителей, но не полностью, потому что наследственность тесно связана с изменчивостью — способностью живых организмов приобретать индивидуальные признаки, отличающие их от других особей.

Наследственность и изменчивость — противоположные свойства, которые природа запрягла в одну упряжку. Наследственность поддерживает установленный порядок, а изменчивость его нарушает, и никуда им друг от друга не деться. Что было бы, если бы не существовало наследственности?

А ничего бы не было! В смысле — ничего живого. Жизнь возможна только при условии

непрерывного самоподдерживания посредством размножения, а без возможности передавать свои признаки следующему поколению размножаться нельзя.

Что было бы, если бы не существовало изменчивости?

На суше ничего живого не было бы. А в воде обитали бы потомки первого одноклеточного организма, с которого началась жизнь на нашей планете. Все они были бы полностью схожи друг с другом, каждое поколение являлось бы абсолютно точной копией предыдущего. Жизнь, как известно, зародилась в воде и первоначально развивалась там. При отсутствии изменчивости выход жизни из воды на сушу был бы невозможен. Порядок нужен, с этим никто не спорит, но что-то где-то иногда должно изменяться...

Наука, изучающая закономерности наследственности и изменчивости, называется генетикой. В вольном переводе с греческого ее название означает «наука о происхождении». Генетика — относительно молодая наука, с непростой судьбой. Годом ее рождения считается 1865 год, в котором австрийский монах Грегор Мендель обнародовал результаты исследований о передаче признаков по наследству при скрещивании гороха. Революционные, без какого-либо преувеличения, опыты Менделя не удостоились внимания научной общественности, а новорожденная наука на протяжении четырех десятилетий словно бы и не существовала. У нее даже имени своего не было, не говоря о чем-то другом. Лишь в 1906 году британский биолог Уильям Бэтсон образовал от греческого слова «генезис» («рождение») термин «генетика». Получив имя, новая наука начала быстро развиваться. Открытия шли одно за другим, появлялись новые направления, выраставшие в отдельные отрасли. На сегодняшний день генетика является не просто наукой, а совокупностью научных дисциплин, число которых перевалило за три десятка.

Раньше преступники творили свои черные дела в перчатках, чтобы не оставлять отпечатков пальцев на месте преступления, а сейчас самые осторожные из них действуют в наглухо закрытых комбине зонах, чтобы не оставить криминалистам ни волоска, ни кожной чешуйки, ни капельки слюны или крови, из которых можно выделить ДНК\* и «пробить» ее по генетической базе. Криминалистическая генетика помогает раскрывать преступления.

Генная инженерия широко используется в животноводстве, растениеводстве и медицине. Все, наверное, слышали о генетически модифицированных организмах и векторных вакцинах? А знаете ли вы, что в будущем врачи будут лечить пациентов, «переписывая» их наследственные программы?

А сколько нам открытий чудных готовит археогенетика, которая изучает генетическую историю жизни на нашей планете? Выделенная из археологических останков ДНК «рассказывает» о том, как именно происходило расселение человека по планете; о том, чем болели наши древние предки; о том, чем они питались, и о многом другом...

Эта книга предназначена как для школьников, которым хочется больше знать и лучше понимать, так и для взрослых, которым интересна генетика. Изложенный материал выходит за рамки школьного курса генетики, включенного в программу по биологии, однако не стоит бояться, что вы чего-то не поймете, поскольку информация подается в легкоусвояемом виде. Книга написана по принципу «просто о сложном», как и положено в серии «Наука на пальцах».

Познавательного вам чтения!

---

\* О том, что это такое, будет рассказано в первой главе.

# ДВЕ КИСЛОТЫ, БЕЗ КОТОРЫХ НЕ БЫЛО БЫ ЖИЗНИ

## ГЛАВА 1

В далеком 1869 году швейцарский биолог Иоганн Мишер выделил из клеточных ядер человеческих лейкоцитов\* вещество, которое назвал «нуклеином» от латинского слова «нуклеус» («ядро»). Мишер установил, что нуклеин состоит из углерода, кислорода, водорода, азота и фосфора, а также то, что нуклеин обладает кислыми свойствами, но ничего большего возможности того времени сделать не позволяли. «Расшифровать» структуру нуклеина удалось лишь в середине XX века. По результатам «расшифровки» нуклеин переименовали в дезоксирибонуклеиновую кислоту (ДНК).

Пусть вас не смущает столь длинное название. С третьей попытки его можно произнести уже без запинки, да и вообще чаще всего пользуются аббревиатурой ДНК, так проще. Следом за дезоксирибонуклеиновой кислотой была

---

\* Лейкоцит — одна из разновидностей клеток крови.



изучена рибонуклеиновая кислота (РНК), содержащаяся как в клеточном ядре, так и за его пределами.

Молекулы ДНК и РНК состоят из повторяющихся блоков, которые называются нуклеотидами. Нуклеотиды, в свою очередь, состоят из азотистого основания и одного из двух сахаров: рибозы или дезоксирибозы\*. От сахара образуется название нуклеиновой кислоты. В состав ДНК и РНК входят четыре азотистых основания. Аденин (А), гуанин (G) и цитозин (С) — общие для обоих нуклеиновых кислот, тимин (Т) встречается только в ДНК, а урацил (U) — только в РНК\*\*. Условно азотистые основания можно сравнить с буквами, при помощи которых записывается наследственная информация организма.

Если с химической точки зрения ДНК и РНК довольно схожи между собой как представители одной и той же группы нуклеиновых кислот, то с генетической точки зрения разница между ними огромна. Молекулы ДНК являются хранителями наследственной информации и организаторами ее передачи по назначению. А молекулы РНК играют вспомогательную роль. Однако из этого правила существует исключение. У многих вирусов, не имеющих ДНК, наследственная информация «записана» на молекулах РНК. А еще у вирусов, наряду с двухцепочечной ДНК и одноцепочечной РНК, встречаются и двухцепочечная РНК, и одноцепочечная ДНК, имейте это в виду.

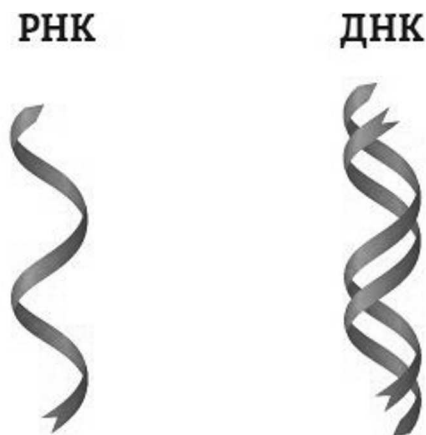
Молекулы ДНК гораздо крупнее молекул РНК, которые тоже не маленькие. Если молекулы РНК можно назвать крупными, то молекулы ДНК — гигантскими. Число

---

\* Азотистые основания представляют собой гетероциклические производные пиримидина и пурина. В рамках нашего разговора о генетике нет смысла глубоко погружаться в химию, достаточно знать названия пяти азотистых оснований, входящих в состав молекул ДНК и РНК.

\*\* Речь идет о ДНК и РНК человека. У некоторых организмов в состав ДНК может входить урацил.

нуклеотидов в ДНК может достигать до нескольких сотен миллионов. Молекулы ДНК состоят не из одной, а из двух нуклеотидных цепочек, которые для лучшей компактности еще и закручены вокруг своей оси в спираль. Цепочки устроены так, что остатки фосфорной кислоты и дезоксирибозы выполняют роль каркаса, похожего на перила винтовой лестницы, а нуклеотиды-«ступеньки» располагаются внутри и доступны для считывания. А вот молекулы РНК состоят из одной длинной нуклеотидной цепочки, которая также закручивается в спираль, или из множества одинарных спиралей, образующих подобие клубка.

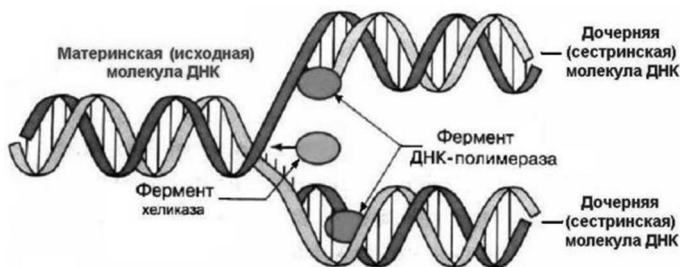


**Схематическое изображение фрагментов молекул ДНК и РНК**

Наследственную информацию, закодированную в молекулах ДНК, нужно передавать потомкам, верно? Следовательно, нужно копировать молекулы ДНК. Эти молекулы настолько сознательны, что копируют себя сами. Про сознательность была шутка, потому что молекулы разумом не обладают, а про самокопирование — чистая правда. Молекулы ДНК обладают

способностью к самовоспроизведению, которая по-научному называется репликацией.

Процесс репликации происходит так. Двойная нуклеотидная цепочка разъединяется, и по каждому из фрагментов начинают «ползти», то есть перемещаться, белковые комплексы, содержащие фермент\* под названием ДНК-полимераза. ДНК-полимераза считывает информацию с материнской цепочки и на ее основе создает новую цепочку. Таким образом в ходе процесса из одной молекулы ДНК образуются две дочерние, каждая из которых содержит половину (одну цепочку) материнской ДНК. Разъединение двойной спирали для копирования обеспечивает особый фермент, который называется хеликазой. Хеликазу можно сравнить с ножницами, разрезающими связи между цепочками.



## Репликация

Репликация — основа наследственности. Дочерние ДНК должны являться копиями материнской ДНК. Обратите внимание на слово «должны», потому что оно имеет важное значение. Да, природа «запрограммировала» молекулы ДНК на точное самокопирование, однако во время репликации вместо нужного

\* Ферментами или энзимами называются молекулы белков или РНК, ускоряющие химические реакции в живых системах.

нуклеотида в цепочку может быть встроена другой, содержащий иное азотистое основание. Такие ошибки неизбежны. В результате наследственный код может измениться. Вот вам один из примеров изменчивости.

Имеете ли вы представление о скорости размножения бактерий? Если с питанием все в порядке, то есть бактерии находятся в питательной среде, содержащей все необходимое, то примерно раз в 20 минут одна бактерия будет делиться на две дочерние клетки. В идеальных условиях, исключающих гибель бактерий, от одной клетки-праматери за 10 часов может образоваться миллион потомков! А вот амеба, пребывающая в благоприятных условиях, делится надвое раз в сутки, а то и реже. Как, по-вашему, чем можно объяснить столь большую разницу в скорости размножения у двух одноклеточных организмов?

Давайте вспомним, что амебы относятся к эукариотам, то есть организмам, клетки которых имеют ядро\*, а бактерии — к безъядерным прокариотам. У эукариот репликация протекает со скоростью от 500 до 5000 нуклеотидных пар в минуту, а у прокариот скорость репликации гораздо выше и в среднем составляет около 100 000 пар в минуту. Почему? Да потому, что у эукариот молекулы ДНК содержатся в ядрах, а у прокариот находятся в цитоплазме — полужидкой внутренней среде клетки. Проще говоря, в клетках-эукариотах ДНК хранится в «упакованном» виде, а у прокариот в «распакованном», полностью готовом к копированию. Прокариотам, в отличие от эукариот, не приходится тратить время на «распаковку» и «упаковку» молекул ДНК, а также на транспортировку «строительного материала» внутрь ядра из цитоплазмы, потому

---

\* Некоторые клетки многоклеточных эукариот могут не иметь ядер. Пример — эритроциты (красные кровяные тельца) человека.

и репликация у них протекает гораздо быстрее. Кроме того, амёбы имеют более сложное строение, чем бактерии, а на воспроизводство большего количества клеточных структур тоже требуется больше времени. Но главное различие — скорость репликации.

Вот вам вопрос на сообразительность (ответ будет дан в конце этой главы).

Первое. Эукариоты произошли от прокариот. Самые первые клетки были безъядерными, ядра появились на определенном этапе эволюции. С одной стороны, мы знаем, что естественный отбор, являющийся основным фактором эволюции, можно сказать — ее движущей силой, оставляет (закрепляет) полезные, благоприятные для существования и размножения признаки и исключает вредные, неблагоприятные. Это происходит само собой, а не по чьему-то велению. Особь, обладающая благоприятным признаком, сможет прожить дольше и оставить больше потомства, чем условно-средняя особь, не имеющая такого признака. И ее потомки, получившие благоприятный признак, тоже смогут прожить дольше и оставить больше потомства. Таким образом, со временем признак распространится по всей популяции\*, а особь с неблагоприятным признаком проживет меньше среднего и оставит мало потомства, а то и вовсе не доживет до половозрелого возраста. Иначе говоря, вредный признак не будет передан потомству или же будет передан малому количеству потомков. В отличие от полезного, вредный признак не сможет распространиться по всей популяции, он со временем сойдет на нет.

---

\* Популяцией называется совокупность организмов одного вида, длительное время обитающих на одной территории и частично или полностью изолированных от особей других аналогичных групп того же вида.

Второе. Высокая скорость размножения с эволюционной точки зрения безусловно является благоприятным признаком. Чем быстрее растут наши ряды, тем скорее мы вытесним всех конкурентов и завоюем мир! В конечном итоге все живые организмы к этому и стремятся.

Третье. Эволюция не ошибается, потому что она этого не умеет. Ошибается тот, кто принимает решение, а эволюционный процесс протекает стихийно, без какого-либо контроля.

Вопрос: так почему же появление клеточного ядра было закреплено естественным отбором как полезный признак? Можно спросить иначе: почему довольно канительная «упаковка» молекул ДНК в клеточное ядро была закреплена естественным отбором как полезный признак?

Пойдем дальше.

Молекулы ДНК служат матрицами для молекул РНК. Образование молекулы РНК на ДНК-матрице называется транскрипцией. Транскрипция напоминает репликацию — по молекуле ДНК «ползет» фермент РНК-полимераза и по считываемому коду синтезирует молекулу РНК.

Молекулы РНК, в свою очередь, служат матрицами для синтеза молекул различных белков. Этот процесс называется трансляцией.

Вся наследственная информация реализуется в виде синтеза тех или иных белков, являющихся основой жизни на нашей планете. Все свойства живых организмов, начиная с цвета волос и заканчивая состоянием иммунной системы, определяются белками.

У вдумчивых читателей может возникнуть вопрос: зачем сначала синтезировать РНК-матрицы на ДНК-матрицах, а затем на РНК-матрицах синтезировать белковые молекулы? Зачем нужны посредники, на создание которых приходится тратить время и средства? Опять же, лишние копирования увеличивают процент ошибок...

Так удобнее. Молекула ДНК представляет собой весьма громоздкую матрицу. Маленькие матрицы РНК гораздо удобнее для синтеза белковых молекул, и это удобство оправдывает затраты на их производство. Кроме того, ДНК-матрица в клетке всего одна, а РНК-матриц можно «наштамповать» много и вести синтез белковых молекул на всех одновременно. В живой природе нет ничего избыточного и нерационального, а если что-то и кажется нам таковым, то только лишь по причине непонимания сути. Так, например, мы пока еще не знаем назначение участков молекул ДНК, не хранящих никакой информации. Эти участки не очень-то благозвучно называют «мусорной ДНК», но дело не в названии, а в том, что к «мусору» относится более 90% молекулы ДНК. Если бы эти участки на самом деле были бы «мусором», то есть чем-то ненужным, то они давным-давно исчезли бы в ходе эволюционного процесса. Однако же они сохранились, следовательно, без них обойтись нельзя.

РНК служат не только матрицами. Они входят в состав ряда ферментов и сами по себе тоже способны проявлять ферментативную активность, которая выражается в способности «разрывать» другие молекулы РНК или, напротив, «склеивать» их фрагменты. РНК, выступающие в роли самостоятельных ферментов, называются рибозимами.

Существует также транспортная РНК, которая переносит аминокислоты к месту синтеза белков. А малюшка РНК-праймер, состоящая всего из десятка нуклеотидов, выполняет очень важную функцию — запускает процесс репликации ДНК.

Кстати говоря, вид одной длинной спирали имеют молекулы РНК, служащие матрицей для синтеза белков. Все прочие, «нематричные» разновидности РНК состоят из «клубков», образованных множеством коротких спиралей.

У многих вирусов РНК играет роль ДНК, то есть является хранителем наследственной информации. А знаете ли