

GENETIC ENGINEERING

I. B. LESHCHINSKAYA

In 1972 Paul Berg and co-workers published the first results of the in vitro construction of the hybrid DNA molecule consisting of fragments of phage, bacterial, and viral DNAs. Thus, a new branch of molecular biology, named genetic (gene) engineering, made its appearance. The goal of genetic engineering is to create new genetic constructs and, eventually, organisms with new hereditary traits.

В 1972 г. Пол Берг с сотрудниками опубликовали первую работу о получении *in vitro* (вне организма) рекомбинантной (гибридной) молекулы ДНК, состоящей из фрагментов фаговой, бактериальной и вирусной ДНК. Так родилась новая отрасль молекулярной биологии, получившая название “генетическая (генная) инженерия”. Своей целью она имеет создание новых генетических структур и, в конечном счете, создание организмов с новыми наследственными свойствами.

© Лещинская И.Б., 1996

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

И. Б. ЛЕЩИНСКАЯ

Казанский государственный университет

*Посвящается светлой памяти
академика А.А. Баева*

ВВЕДЕНИЕ

В 1972 году появилась первая публикация, в которой сообщалось о получении *in vitro* рекомбинантной ДНК, состоящей из фрагментов разных молекул ДНК: вирусной, бактериальной и фаговой. Работа была выполнена американским ученым Полом Бергом с сотрудниками и ознаменовала рождение новой отрасли молекулярной биологии — генетической (генной) инженерии.

А.А. Баев был первым в нашей стране ученым, который поверил в перспективность генной инженерии и возглавил исследования в этой области. Генетическая, или генная, инженерия, по его определению, — это конструирование *in vitro* функционально активных генетических структур (рекомбинантных ДНК), или, иначе, — создание искусственных генетических программ. Генная инженерия имеет целью изучение интимных механизмов функционирования генетического аппарата эукариот, включая человека, что другими приемами сделать невозможно. Вместе с тем, генная инженерия ставит перед собой обширные практические задачи, немало из которых уже решено. Прежде всего это получение путем бактериального синтеза ряда лекарственных средств, например инсулина, интерферонов. Важнейшим достижением является создание диагностических препаратов, в частности, для выявления такого опасного заболевания, как СПИД. Получение так называемых трансгенных растений открывает принципиально новые возможности для растениеводства в создании сельскохозяйственных культур, устойчивых к экстремальным воздействиям и инфекционным поражениям. Это далеко не полный перечень практических свершений генной инженерии.

После первых успешных экспериментов с рекомбинацией молекул ДНК в пробирке появились первые сомнения и опасения, не принесет ли генная инженерия вред природе и человечеству. В июле 1974 года несколько крупных ученых обратились к научной общественности с предложением наложить мораторий на работы с рекомбинантными ДНК *in vitro*. В феврале 1975 года в Калифорнии на Асиломарской конференции собрались 140 ученых разных стран, работающих в области генной инженерии. Всесторонне изучив результаты и возможные последствия, ученые пришли к выводу, что потенциальные опасности невелики, так как рекомбинантные штаммы в природных условиях нежизнеспособны и их бесконтрольное

распространение маловероятно. Было решено превратить мораторий и продолжить исследования с соблюдением специально разработанных правил. Сегодня мы можем отметить, что почти за четверть века своего существования генная инженерия не причинила никакого вреда самим исследователям, не принесла ущерба ни природе, ни человеку. Сверхшения генной инженерии как в познании механизмов функционирования организмов, так и в прикладном плане весьма внушительны, а перспективы поистине фантастичны.

В одной статье невозможно даже коротко изложить современное положение и перспективы генетической инженерии. Мы рассмотрим следующие, на наш взгляд, наиболее интересные вопросы.

1. Каковы теоретические основы генетической инженерии?
2. Чем генная инженерия принципиально отличается от классической селекции?
3. Как это делается?
4. Некоторые научные результаты.
5. Наиболее впечатляющие практические свершения.

КАКОВЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГЕННОЙ ИНЖЕНЕРИИ?

Молекулярная биология заявила о себе в качестве самостоятельной науки в 1953 году, когда Джеймс Уотсон и Френсис Крик открыли знаменитую двойную спираль ДНК и постулировали матричный механизм ее синтеза.

В соответствии с этим механизмом двойная спираль ДНК при репликации разделяется и каждая цепь служит матрицей для синтеза дочерней цепи, которая по своей первичной структуре является зеркальным отражением матрицы. В результате такого матричного синтеза образуются две совершенно идентичные двуспиральные молекулы ДНК, каждая из которых передается в дочерние клетки. Последние получают всю генетическую программу от родительской клетки. По такому же матричному механизму осуществляется синтез РНК, только РНК синтезируется в виде односпиральной цепи, которая комплементарна ДНК-матрице. Этот процесс получил название транскрипции. А процесс синтеза белка на РНК-матрице (мРНК) происходит на рибосомах, и структура белка соответствует структуре мРНК. Это очень сложный процесс, он называется трансляцией, и в нем участвует транспортная РНК (тРНК). Она доставляет в рибосому аминокислоты и адаптирует язык мРНК к языку белка. Таким образом, процесс матричного синтеза ДНК определяет передачу наследственной информации от родительской клетки в дочернюю. В процессе матричного синтеза РНК происходит передача информации (генетического кода данного белка) от ДНК на мРНК, а мРНК переносит информацию на рибосому, где она реализуется в виде конкретной структуры белка.

При половом процессе может происходить обмен участками между двумя хромосомами (молекулами ДНК) от двух скрещиваемых индивидуумов. Этот процесс получил название рекомбинации, и в клетке чаще всего он может происходить только между гомологичными хромосомами, так как комплементарные по своей структуре молекулы ДНК притягиваются друг к другу и обмениваются генетическими детерминантами, в результате чего образуется дочерняя хромосома, содержащая элементы структуры от двух родительских хромосом. Открытый недавно процесс негомологичной рекомбинации осуществляется только в том случае, если в одной из взаимодействующих молекул ДНК есть гены, кодирующие специальные ферменты разрезания ДНК.

Следующее важное открытие, предопределившее возникновение генной инженерии, — обнаружение в бактериальных клетках внехромосомных малых кольцевых молекул ДНК. Эти минихромосомы впервые были обнаружены в начале 50-х годов и получили название плазмид. Плазмиды обладают способностью к автономной от хромосомы репликации, поэтому плазмиды содержатся в клетке в виде нескольких копий. Различаются плазмиды по генетическим детерминантам. Очень важно, что плазмиды из-за своих малых размеров могут быть выделены из клетки в неповрежденном, нативном состоянии.

В 1970 году американцы Келли и Смит с сотрудниками выделили первую рестриктазу — фермент, который вызывает гидролиз ДНК в строго определенных местах с образованием так называемых липких концов, о чем подробнее будет рассказано в третьем разделе. Существование таких ферментов-рестриктаз было доказано в опытах швейцарцев Линна и Арбера в конце 60-х годов. В настоящее время описано множество таких ферментов, которые применяются в генной инженерии.

Таким образом, к началу 70-х годов были сформулированы основные принципы функционирования нуклеиновых кислот и белков в живом организме и созданы теоретические предпосылки генной инженерии (схема 1).

Схема 1. Теоретические предпосылки генной инженерии

1. Молекулярные механизмы матричного синтеза:

ДНК → ДНК	Репликация
ДНК → РНК	Транскрипция
мРНК → белок	Трансляция

- Обмен генами у гомологичных хромосом при половом процессе
Рекombинация
2. Кольцевые двуспиральные малые молекулы ДНК, автономно размножающиеся в бактериальной клетке и несущие маркерный ген
Плазмиды
3. Ферменты, способные расщеплять ДНК в строго определенном месте с образованием липких концов у образуемых фрагментов
Рестриктазы

ЧЕМ ГЕННАЯ ИНЖЕНЕРИЯ ПРИНЦИПИАЛЬНО ОТЛИЧАЕТСЯ ОТ КЛАССИЧЕСКОЙ СЕЛЕКЦИИ?

Для того чтобы это понять, перечислим ограничения, с которыми сталкиваются селекционеры при получении новых пород животных, сортов растений или активных рас практически ценных микроорганизмов:

- 1) нельзя скрещивать неродственные виды;
- 2) нельзя извне управлять процессом рекомбинации в организме;
- 3) нельзя предугадать, какое получится потомство.

Известно, что в природе скрещиваются между собой только близкородственные организмы, так как существуют специальные клеточные барьеры скрещивания клеток. Кроме того, процесс рекомбинации заключается во взаимодействии между гомологичными, то есть близкими по своей молекулярной структуре, хромосомами. Постоянство своего генетического состава организм очень надежно охраняет. Даже самая богатая фантазия не может вообразить, каких монстров породила бы природа, если бы не охраняла чистоту вида, препятствуя скрещиванию неродственных форм.

Генетическая рекомбинация в организме — очень сложный процесс, которым управлять извне невозможно. Это обстоятельство делает путь к получению новой породы или расы очень тернистым, долгим, а подчас и невозможным.

Результаты скрещивания невозможно предсказать заранее. Как хочется, чтобы ребенок был таким же очаровательным, как мама, сильным и добрым, как папа, умным, как бабушка, и веселым, как бабушка. Но процесс рекомбинации — статистический, и нам не дано стопроцентно предугадать, какие признаки родителей унаследует потомство, и результат бывает иногда прямо противоположным ожидаемому.

Молекулярная биология вооружила ученых пониманием законов передачи от родителей потомству наследственной информации. Стали понятными причины ограничений классической селекции, а также то обстоятельство, что природные механизмы, стоящие на страже чистоты и стабильности своего генома, преодолеть практически невозможно.

А что если попытаться проводить рекомбинацию хромосом или отдельных генов вне организма (*in vitro*), в пробирке? Первые удачные эксперименты такого рода сделаны в 1972 году, и вскоре был создан арсенал приемов и методов, позволяющих производить рекомбинацию генов *in vitro*, затем вводить полученную генную конструкцию в клетку, при этом в последней синтезируются продукты введенных генов.

Таким образом, суть генной инженерии состоит в том, что процесс рекомбинации производится вне организма и таким образом преодолеваются все ограничения, с которыми сталкиваются ученые, используя приемы классической селекции. Итак, теперь все стало можно: можно скрещивать отдель-

ные гены “ужа и ежа”, можно управлять процессом, можно предсказать результат (схема 2).

Схема 2. Возможности генной инженерии

1. Можно скрещивать индивидуальные гены видов, стоящих на разных ступенях эволюции. В основе рекомбинации гетерологичных ДНК *in vitro* лежит прием, позволяющий с помощью рестриктаз подготовить молекулы для скрещивания, то есть разрезать разные ДНК с образованием одинаковых липких концов.
2. Можно управлять процессом рекомбинации, так как он происходит в пробирке и не защищен запрещающими механизмами организма.
3. Можно предсказать результат, т.к. отбирается потомство одной молекулы ДНК (молекулярное клонирование).

КАК ЭТО ДЕЛАЕТСЯ?

Как уже указывалось, процесс рекомбинации в организме (*in vivo*) возможен в большинстве случаев между гомологичными молекулами ДНК. Однако оказалось, что *in vitro* притягивание и взаимодействие (гибридизация) молекул ДНК возможно, если они будут иметь небольшие комплементарные односпиральные участки из четырех и более нуклеотидов на концах молекул (в настоящее время описаны двенадцатинуклеотидные липкие концы). Такие комплементарные односпиральные последовательности получили название липких концов, так как две молекулы ДНК могут соединиться (слипнуться) этими концами. Таким образом, если в пробирку поместить самые разные молекулы ДНК с одинаковыми липкими концами, то будет происходить рекомбинация, даже если вся их структура очень различается.

Как же получить гетерогенные молекулы ДНК с одинаковыми липкими концами? Для этого используются ферменты-рестриктазы, которые “умеют” разрезать молекулы ДНК так, что у них образуются одинаковые (комплементарные) липкие концы. Происходит такое разрезание в участках, несущих особым образом повторяющиеся последовательности нуклеотидов. Рестриктазы узнают эти последовательности и разрезают ДНК в точках повтора: в результате односпиральный конец одной молекулы оказывается комплементарным (липким) концу другой молекулы.

Теперь, чтобы полученные в пробирке генные конструкции заработали, необходимо их ввести в подходящую бактериальную клетку. Вот тут-то и пригодятся плазмиды. В генной инженерии их называют векторами (повозки, которые доставляют в клетку клонируемый ген). Для этого плазмиды тоже режут рестриктазами, чтобы получить односпиральные концы, комплементарные концам генов, проводят гибридизацию гена и плазмиды в пробирке, а затем рекомбинантную плазмиду (ее называют еще химерной) вводят в клетку. Плазмиды, которые

используются в генной инженерии, имеют очень важное свойство: они содержат так называемый маркерный ген, например ген, сообщающий клетке устойчивость к определенному антибиотику. Благодаря этому клетки, несущие рекомбинантную плазмиду, легко отделить от клеток, не имеющих такой плазмиды. Для этого бактерии высевают на среду с антибиотиком, на которой будут расти только клетки с плазмидой — так называемые рекомбинантные клетки, а процедура их отбора получила название молекулярного клонирования, так как рекомбинантные клетки представляют собой потомство одной молекулы ДНК [4, 5].

В рекомбинантных клетках химерная плаزمида, несущая чужеродный ген, начинает функционировать, то есть совершаются процессы репликации, транскрипции и трансляции нового введенного в клетку гена и синтезируется продукт этого гена, который в природных клетках никогда ранее не мог образоваться. Таким образом, *in vitro* проводится только рекомбинация, а все остальные превращения с химерной плазмидой происходят в клетке так же, как и со своими собственными генами. Иными словами, теперь можно ввести в бактериальную клетку ген, полученный из любого организма — слона, носорога, обезьяны и ... даже человека, и заставить чужеродный ген там функционировать.

Итак, основные процедуры в генной инженерии сводятся к следующему:

- 1) рекомбинация *in vitro* ДНК-вектора и ДНК-гена;
- 2) введение рекомбинантной плазмиды в клетку;
- 3) молекулярное клонирование.

Схематически ход эксперимента показан на рис. 1.

НЕКОТОРЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Уже первые шаги в области изучения рекомбинантных молекул позволили считать, что достигнут не просто успех, но осуществлен прорыв, открывающий новые пути для познания наследственности. Возникли исключительные условия для изучения механизмов функционирования и структурной организации генома, в том числе и генома человека. Используя методы генной инженерии, ученые сделали много поразительных открытий. К одному из них относится явление дискретности генов эукариот. Если раньше было признано положение о коллинеарном переносе генетической информации от ДНК на мРНК и от мРНК на блок, то сейчас установлено, что гены животных и растений имеют внутри такие последовательности, которые после транскрипции удаляются и не копируются в структуре белка. Значимые части гена называли экзонами, а удаляемые части — интронами. Последовательности РНК, соответствующие интронам, вырезаются и не транслируются, а последовательности, соответствующие экзонам, сшиваются специальными ферментами. Процесс получил название сплайсинг (рис. 2).

Другое очень важное открытие состоит в следующем. Было известно, что у бактерий, да и не только у них, в составе генома имеются такие гены, которые перемещаются, мигрируют, меняют свое место на хромосоме. Генная инженерия позволила глубже проникнуть в природу подвижных элементов, изучить их структуру, механизмы действия и биологическую роль. Именно при перемещении подвижных элементов (транспозонов) и происходит часто негомологичная рекомбинация.

НАИБОЛЕЕ ВПЕЧАТЛЯЮЩИЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ СВЕРШЕНИЯ

Генная инженерия — медицине

Среди многих достижений генной инженерии, получивших применение в медицине, наиболее значительное — получение человеческого инсулина в промышленных масштабах.

Всем широко и печально известна такая болезнь, как сахарный диабет, когда организм человека утрачивает способность вырабатывать физиологически важный гормон — инсулин. В результате в крови накапливается сахар и больной может погибнуть. Инсулин уже давно получают из органов животных и используют в медицинской практике. Однако многолетнее применение животного инсулина ведет к необратимому поражению многих органов пациента из-за иммунологических реакций, вызываемых инъекцией чужеродного человеческого организму животного инсулина. Но даже потребности в животном инсулине до недавнего времени удовлетворялись всего на 60 — 70%. Так, в 1979 году из 6 млн. больных во всем мире только 4 млн. получали инсулин. Без лечения инсулином больные умирали. А если учесть, что среди больных диабетом немало детей, становится понятным, что для многих стран это заболевание превращается в национальную трагедию.

Генные инженеры в качестве первой практической задачи решили клонировать ген инсулина. Клонированные гены человеческого инсулина были введены с плазмидой в бактериальную клетку, где начался синтез гормона, который природные микробные штаммы никогда не синтезировали. Начиная с 1982 года фирмы США, Японии, Великобритании и других стран производят генно-инженерный инсулин. Проблема решена. Из 1000 литров бактериальной культуры получают приблизительно 200 г инсулина, что равно количеству, получаемому из 1600 кг поджелудочной железы животных. Параллельно была решена проблема иммунологического поражения организмов диабетиков животным инсулином.

Производство и продажу инсулина впервые начала американская фирма Eli Lilly. Мировой рынок инсулина составляет в настоящее время более 400 млн. долларов, ежегодное потребление около 2500 кг.

Более двадцати фирм Японии и несколько американских фирм разрабатывали другой очень

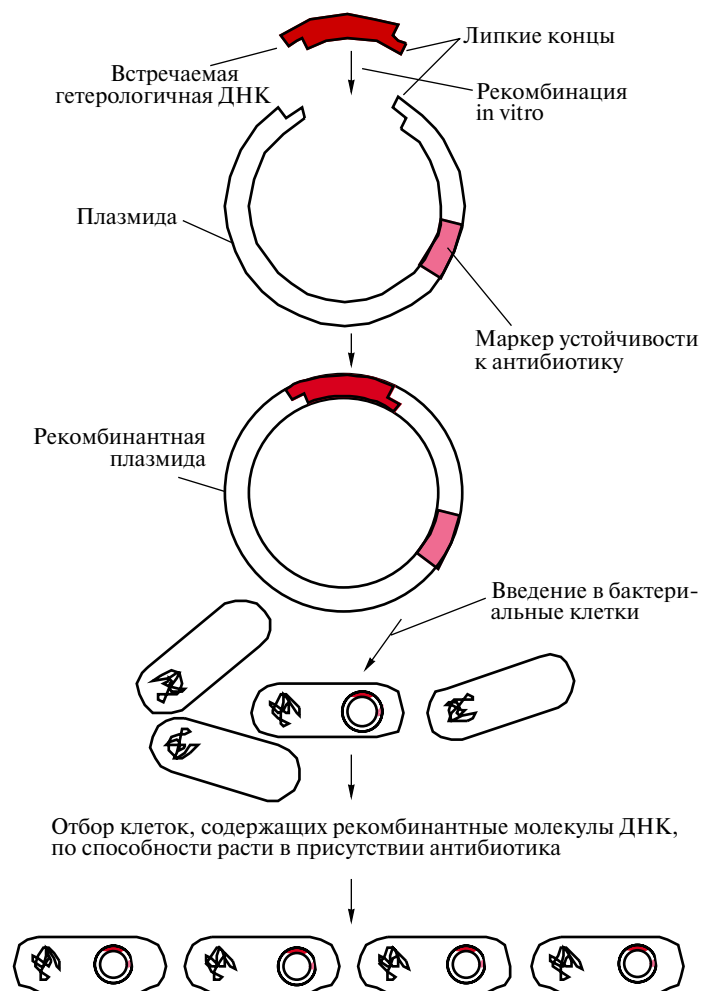


Рис. 1. Клонирование фрагмента ДНК в плазмиде.

важный медицинский препарат — интерферон, который эффективен при различных вирусных заболеваниях и злокачественных новообразованиях. Первым из этих соединений на рынок поступил альфа-интерферон, затем бета-интерферон.

Еще один эффективный противораковый препарат — интерлейкин — производится в Японии и США. Интересно отметить, что сегодня американский рынок медицинских препаратов, полученных методами генной инженерии, сравним с такими массовыми лекарствами, как антибиотики. К 2000 году стоимость продукции, выпускаемой в США на основе генно-инженерных методов, достигнет 50 млрд. долларов в год.

Около 200 новых диагностических препаратов уже введены в медицинскую практику, и более 100 генно-инженерных лекарственных веществ находится на стадии клинического изучения. Среди них лекарства, излечивающие артриты, сердечно-сосудистые заболевания, некоторые опухолевые процессы и, возможно, даже СПИД. Среди нескольких

сотен генно-инженерных фирм 60% работают над производством лекарственных и диагностических препаратов.

Генотерапия

Неблагоприятная экологическая обстановка и целый ряд других подобных причин приводят к тому, что все больше детей рождается с серьезными наследственными дефектами. В настоящее время известно 4000 наследственных заболеваний, для большинства из которых не найдено эффективных способов лечения.

Генные инженеры уже внесли свой вклад в решение этой проблемы, разработав диагностические препараты, позволяющие обнаруживать генетические аномалии в период беременности, что дает возможность предотвратить рождение больного ребенка. Однако более одного процента всех новорожденных имеют генетические заболевания,

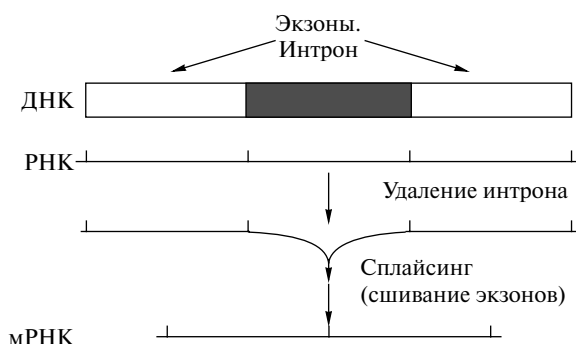


Рис. 2. Дискретный ген эукариот, удаление последовательности, соответствующей интронам, и сплайсинг.

которые приводят к физическим и умственным нарушениям, а также к ранней смерти.

Буквально с первых шагов генной инженерии ученые задались целью разработать методы исправления генетических повреждений путем введения в организм “здоровых” генов. В 1989 году в Национальных Институтах Здоровья США впервые была предпринята попытка применить в клинической практике генотерапию для лечения опасного заболевания “тяжелый комбинированный иммунодефицит” (ТКИД). В настоящее время генотерапия ТКИД проходит завершающую стадию клинических испытаний.

Наиболее обнадеживающие результаты ожидаются в тех случаях, когда заболевание обусловлено дефектом одного гена. В этом случае полагают, что удастся вводить нормальный ген в соматические клетки прицельно в то место на хромосоме, где находится дефектный ген. При гомологичной рекомбинации введенный ген заместит дефектный. Такой однократной процедуры в ряде случаев будет достаточно, чтобы излечить болезнь. Однако на практике очень трудно проконтролировать судьбу введенной в клетки ДНК, и на одно правильное встраивание в геном приходится более 1000 случайных. Разрабатывается и другой подход, когда введенный ген не заменяет дефектный, а компенсирует его функцию, встраиваясь в хромосому в другом месте.

Исследования ведутся очень интенсивно, хотя до реализации программы лечения для большинства наследственных заболеваний предстоит еще длинный и многотрудный путь. Возможность излечения таких заболеваний путем введения нормальных генов — это такая благородная задача, что в некоторых странах исследования в области генотерапии считаются наиболее приоритетными и финансируются в первую очередь.

Трансгенные растения

Веками селекционеры работают над выведением новых сортов культурных растений, придавая им свойства, необходимые для практического использования. Достаточно сравнить цветок розы с цвет-

ком шиповника, чтобы убедиться, сколь велики достижения трудов человеческих. Правда, при этом вспоминаешь, что путь от диких предков к культурным растениям простирается на десятки тысяч лет. При этом чем лучше сорт растения или порода животного, тем они капризнее, больше подвержены различным вирусным и микробным заболеваниям, малоустойчивы к насекомым, засухе и т.д.

И вот генные инженеры решили помочь селекционерам сделать культурные растения такими же устойчивыми к болезням и различным экстремальным воздействиям, как и их дикие предки.

С этой целью была разработана система переноса в растения различных чужих генов, которые могут сообщать растениям полезные свойства. Наиболее распространен перенос генов с помощью вируса, поражающего фитопатогенную бактерию *Agrobacterium tumefaciens*. Плаزمиды найденного в клетках *A. tumefaciens* способна переносить часть своей ДНК в растительные клетки. Именно в эту ДНК встраивается необходимый “полезный” ген. Растения, в хромосому которых встраивается чужой ген, называются трансгенными.

Впервые трансгенные растения были получены в 1982 году учеными из Института растениеводства в Кельне и компании Monsanto. В результате растения приобрели устойчивость к антибиотику канамицину, ингибирующему рост. В настоящее время только в компании Monsanto получено более 45 тысяч независимых линий трансгенных растений.

Одна из важных задач — получение растений, устойчивых к вирусам, так как в настоящее время не существует прямых способов борьбы с вирусными инфекциями сельскохозяйственных культур. Ученые из Университета штата Вашингтон решили, что устойчивость к вирусам можно “привить” растениям, вводя в растительные клетки гены белка оболочки вируса табачной мозаики. Эксперимент полностью подтвердил это предположение: интенсивный синтез белка оболочки любого вируса в клетках растений вызывает устойчивость к данному вирусу. В настоящее время получены трансгенные растения, способные противостоять воздействию более десятка различных вирусных инфекций. Еще одна задача связана с защитой растений от насекомых-вредителей. Применение инсектицидов не вполне эффективно, во-первых, из-за их токсичности, во-вторых, потому, что дождевой водой они смываются с растений. В генно-инженерных лабораториях Бельгии и США были успешно проведены работы по внедрению в растительную клетку генов, отвечающих за синтез инсектицидов бактериального происхождения. Эти гены ввели в клетки картофеля, томатов и хлопчатника. Трансгенные растения картофеля и томатов были устойчивы к колорадскому жуку, растения хлопчатника оказались устойчивыми к разным насекомым, в том числе к хлопковой совке. Применение инсектицидов было сокращено на 40 — 60%.

Генные инженеры вывели трансгенные растения с удлинённым сроком созревания плодов. Такие

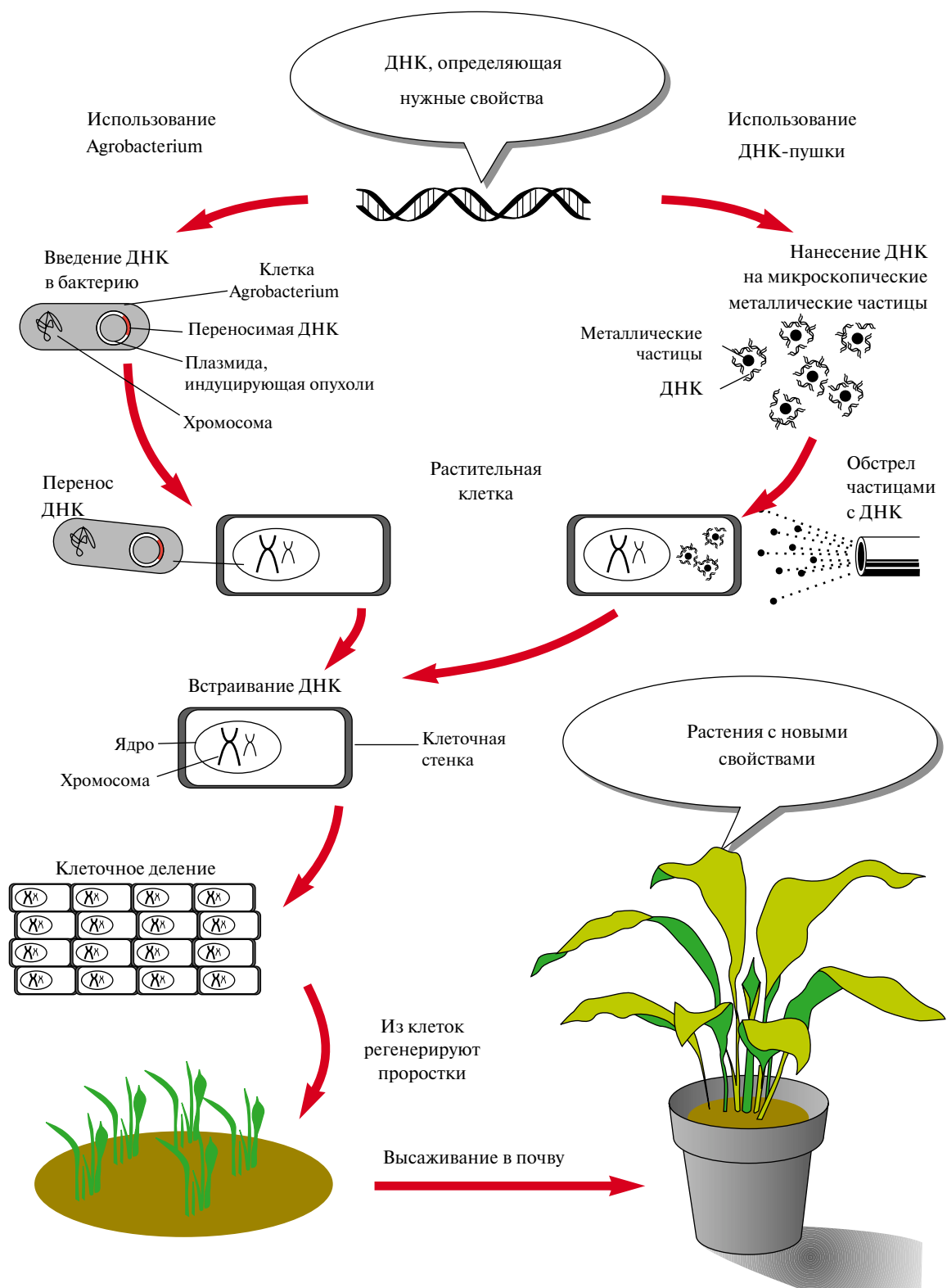


Рис. 3. Два основных метода создания трансгенных растений [8].

помидоры, например, можно снимать с куста красными, не боясь, что они перезреют при транспортировке.

Список растений, к которым успешно применены методы генной инженерии, составляет около пятидесяти видов, включая яблоню, сливу, виноград, капусту, баклажаны, огурец, пшеницу, сою, рис, рожь и много других сельскохозяйственных растений, возделывание которых в ближайшем будущем будет существенно облегчено благодаря генетическим модификациям.

На рис. 3 показаны два метода создания трансгенных растений. При использовании *Agrobacterium* вводимая ДНК (чужеродный ген) включается в бактериальную плазмиду. Бактериями, несущими химерную плазмиду, заражают клетки растений и переносят в них нужную ДНК. Второй метод — так называемая ДНК-пушка — состоит в том, что растительные клетки бомбардируют металлическими частицами, покрытыми ДНК. В обоих случаях попавшая в клетку ДНК встраивается в ее хромосомы, затем клетка делится, и из нее регенерирует целое растение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение следует сказать несколько слов о перспективах генной инженерии, которые просто фантастичны. На основе детального анализа возможностей и реальных достижений генной инженерии составлены научные прогнозы на начало

XXI века. Высказаны, например, надежды, что к 2006 году будут разработаны препараты для лечения такого опасного заболевания, как СПИД, к 2009 году будут определены гены, которые связаны со злокачественными новообразованиями, а к 2010 году будут установлены механизмы возникновения почти всех видов рака. К 2013 году завершится разработка препаратов, предотвращающих рак.

В настоящее время в ряде стран, в том числе и в России, разрабатывается международная программа “Геном человека”, которая сулит важные открытия в биологии человека, в эволюции, биологии развития и нейробиологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биотехнология. / Отв. редактор А.А. Басв. М.: Наука, 1984.
2. *Егоров Н.С. и др.* Биотехнология: проблемы и перспективы. М.: Высшая школа, 1987
3. *Сассон А.* Биотехнология. М.: Мир, 1987.
4. *Уотсон Дж. и др.* Рекомбинантные ДНК. М.: Мир, 1986.
5. *Льюин Б.* Гены. М.: Мир, 1987.
6. *Хесин Р.Б.* Непостоянство генома. М.: Наука, 1984.
7. *Верма А.М.* Генотерапия. // В мире науки. 1991. № 1. С. 26 — 34.
8. *Гассер И.С., Фрейли Р.Т.* Трансгенные культурные растения. // В мире науки. 1992. № 8. С. 24 — 30.
9. *Glazer A.N., Nikaido M.* Microbial Biotechnology. New York: W. M. Freeman and Company, 1995.