**Перспективные направления биотехнологии**

**Обзор современных методов биотехнологии и анализ перспектив их развития**

(по состоянию на ноябрь 2013 г.)

учитель биологии и географии

Петухова Наталья Николаевна

МКОУ Семёно-Александровская СОШ

(Материал к разделу «Основы селекции растений,

животных и микроорганизмов», Биология, 9 класс.)

[1. Генная инженерия в применении к растениям. 1](#_Toc397249321)

[2. Генная инженерия микроорганизмов. 4](#_Toc397249322)

[2.1. Биосинтез. 4](#_Toc397249323)

[2.2. Использование микроорганизмов для утилизации промышленных и бытовых отходов. 5](#_Toc397249324)

[2.3. Биотопливо. 6](#_Toc397249325)

[3. Генная инженерия в применении к животным. 7](#_Toc397249326)

[4. Генная инженерия в медицине. 8](#_Toc397249327)

[Использованные материалы. 10](#_Toc397249328)

Биотехнология — дисциплина, изучающая возможности использования живых организмов, их систем или продуктов их жизнедеятельности для решения разнообразных технологических задач. Термин «биотехнология» появился почти сто лет назад и до 70-х годов XX века означал процессы модификации микроорганизмов, растений и животных путем искусственного отбора и гибридизации. Затем, бурное развитие методов генной инженерии значительно расширило понятие биотехнологии. Сейчас под биотехнологиями понимается настолько широкий комплекс научных направлений, что для оценки их текущих достижений и дальнейших перспектив каждое направление нужно рассмотреть отдельно.

# 1. Генная инженерия в применении к растениям.

Продовольственная проблема является одной из важнейших проблем человечества. Особенно остро она стоит в развивающихся странах, где происходит стремительный рост населения до 100 млн. человек в год, и очень развито сельское хозяйство. Численность населения в мире уже превысила 7 млрд. человек и неуклонно растёт, что требует резкого увеличения объемов производства продуктов питания. Несмотря на то, что за последние 40 лет традиционное производство сельскохозяйственной продукции выросло более чем в 2 раза, дальнейший рост представляется маловероятным. Большая часть пригодных к возделыванию земель уже вовлечена в сельскохозяйственное производство.

Неудивительно, что первые опыты по выращиванию генно-модифицированных культурных растений вызвали в мировом сообществе гигантский ажиотаж и веру в светлое будущее. Технология обещала быстро завалить мир продукцией, полученной из новых растений со значительно увеличенным урожаем, устойчивых к вредителям и неблагоприятным факторам среды. Реальность, впрочем, несколько скорректировала эти радужные мечты.

Генетическая инженерия отличается от традиционной селекции тем, что при селекции перенос генов осуществляется только между близкородственными растениями, генная же инженерия позволяет перенести в растение гены из любого организма. Генетическая инженерия - получение новых комбинаций генетического материала путем проводимых вне клетки манипуляций с молекулами нуклеиновых кислот и переноса созданных конструкций генов в живой организм. Цель заключается в конструировании таких рекомбинантных молекул ДНК, которые при внедрении в генетический аппарат придавали бы организму свойства, полезные для человека. Необыкновенная притягательность трансгенов кроется также в том существенном факте, что биотехнологии позволяют выводить новые культуры за 2-3 года. Обычные же методы селекции путем отбора и скрещивания - это 10 и более лет.

Технология рекомбинантных ДНК использует следующие методы:

- расщепление ДНК рестрицирующими нуклеазами, ускоряющее выделение и манипуляции с отдельными генами;

- быстрое секвенирование всех нуклеотидов в очищенном фрагменте ДНК, что позволяет определить границы гена и аминокислотную последовательность, кодируемую им;

- конструирование рекомбинантной ДНК;

- клонирование ДНК: амплификация in vitro с помощью цепной полимеразной реакции или введение фрагмента ДНК в бактериальную клетку, которая после такой трансформации воспроизводит этот фрагмент в миллионах копий;

- введение рекомбинантной ДНК в клетки непосредственно или с помощью переносчиков – модифицированных бактерий или вирусов.

В 70-х годах группа американских исследователей сообщила о выделении в лаборатории первой гибридной молекулы ДНК – то есть генетического материала, объединившего в себе гены разных организмов. С этого момента формально и взяла старт генная инженерия. В 1983 году американцы вывели трансгенный табак, неуязвимый для определенного вида вредителей. Уже через 4 года трансгенные растения, устойчивые к насекомым и гербицидам, поступили в массовую продажу. Сейчас самые распространенные ГМ-растения - соя, кукуруза, масличный рапс и хлопок. В некоторых странах для выращивания одобрены трансгенные помидоры, рис, картофель. Всего в мире допущено к производству более 140 линий генетически модифицированных растений, под их производство занято более 7% всех посевных площадей в мире.

Чаще всего культурные растения наделяют устойчивостью к гербицидам, насекомым или вирусам. Устойчивость к гербицидам позволяет «избранному» растению быть невосприимчивым к смертельным для других дозам химикатов. В результате поле очищается от всех лишних растений, то есть сорняков, а культуры, устойчивые к гербицидам, выживают. Устойчивая к насекомым флора становится поистине бесстрашной: например, непобедимый колорадский жук, съедая листик картофеля, погибает. Почти все такие растения содержат встроенный ген природного токсина, вырабатываемого земляной бактерией Bacillus thuringiensis.

Был созданы растения, в которые для увеличения морозоустойчивости вживили ген североамериканской камбалы. Гибрид томата и рыбы получил неофициальную кличку "завтрак Франкенштейна".

Проводились также опыты по выращиванию помидоров-гигантов кубической формы, риса с повышенным содержанием каротина, изменению цвета хлопка, и даже по созданию растений, светящихся в темноте.

Несмотря на первоначальные успехи, у генной инженерии растений сразу же появились скептики. Противники ГМО утверждали, что влияние новых белков, которые продуцируют встроенные в ГМО чужеродные гены, неизвестно и последствия невозможно предугадать. К тому же часть генетического материала переносчиков могла встраиваться в геном полученного организма с непредсказуемыми следствиями. К сожалению, такие опасения оказались обоснованными.

Как оказалось, исследования по влиянию ГМО на животные организмы проводились в слишком короткие сроки, недостаточные для полного изучения влияния. Мало того, по признанию некоторых ученых, работающих в биотехнологической отрасли, они были вынуждены изменить данные своих результатов по «настойчивой просьбе» спонсоров. Например, еще первое предмаркетинговое исследование генетически модифицированного томата на безопасность, проведенное в США в 1994 г., официально было признано успешным и послужило основанием для разрешения не только его продажи в магазинах, но и для "облегченной" проверки последующих ГМ-культур. Однако позже открылось, что в течение двух недель после его проведения 7 из 40 подопытных крыс умерли, и причина их смерти неизвестна.

В конце 90-х годов английские ученые на основании проведенных опытов впервые заявили о том, что употребление подопытными крысами генетически модифицированного картофеля привело к серьезным повреждениям их внутренних органов и иммунной системы. У животных возник целый набор серьезных изменений желудочно-кишечного тракта, печени, зоба, селезенки. Но самое зловещее - уменьшился объем мозга.

Тогда же были вовремя остановлены опыты по введению в сою генов бразильского ореха. В продажу мог быть выпущен аллерген, смертельно опасный для тысяч людей, не переносящих орехи. Причем тестирование животных не выявило опасности, а тестирование ГМ-продуктов на людях-аллергиках не входит в обязательную программу испытаний новых продуктов. Так что аллерген был вовремя замечен только по счастливой случайности.

Проведенная в России в 2006 году проверка влияния ГМ-сои, устойчивой к гербициду раундапу, на потомство лабораторных крыс показала повышенную смертность крысят первого поколения, недоразвитость выживших крысят, патологические изменения в органах и отсутствие второго поколения.

Возможным ущербом для здоровья людей опасность ГМО-растений не ограничивается. Доказано, что некоторые ГМ-растения смертельно опасны для живущих на поле или рядом с ним грызунов и насекомых. Последствия нарушения биоценоза в окрестностях плантаций таких ГМ-растений никто не берётся предсказать.

Также существует реально доказанная опасность передачи трансгена от культурного растения его дикорастущим сородичам. В результате может получиться устойчивый к действию пестицидов и гербицидов, не боящийся ни жары, ни холода, не угрызаемый жуками и паразитами и страшно плодовитый суперсорняк. По этой причине, в США, являющихся лидером в создании и производстве ГМ-растений, плантации натуральных и генетически модифицированных растений далеко разнесены друг от друга. Например, во Флориде ГМ-хлопок разрешено выращивать только в северной части штата, а натуральный – в южной.

Обещанное увеличение урожая оказалось не столь значительным, чтобы закрыть глаза на многочисленные страшилки генно-модифицированных растений. В итоге восторженное настроение в мире сменилось на осторожное. В Европе целые города и округи позиционируют себя как «зоны, свободные от ГМО». В России производство ГМО запрещено (а импорт почему-то разрешён). У нас в продажу допускаются продукты с добавлением ГМО. По закону, если их содержание превышает 0,9% от общего объёма, на упаковке таких продуктов должно быть нанесено предупреждение. Есть сведения, что в нашей стране этот порядок не всегда соблюдается.

***Перспективы: Скептические.*** В 2008 г. ООН и Всемирный банк впервые выступили против крупного агробизнеса и генетически-модифицированных технологий. Эксперты ООН убеждены, что в голоде сотен миллионов людей заинтересован крупный агробизнес, который строит свою политику на создании искусственного дефицита продовольствия. Впервые ООН фактически осудила использование в сельском хозяйстве генетически-модифицированных технологий, поскольку они, во-первых, не решают проблемы голода, а во-вторых, представляют угрозу здоровью населению и будущему планеты.

В последние годы сложилось впечатление, что крупные агропромышленные корпорации потихоньку сворачивают исследования по генной модификации растений и переключаются на более благодарную сферу деятельности - микроорганизмы.

# 2. Генная инженерия микроорганизмов.

## 2.1. Биосинтез.

Корни биотехнологии применительно к микроорганизмам уходят в далёкое прошлое и связаны с хлебопечением, виноделием и другими способами приготовления пищи, известными человеку еще в древности. Например, брожение с участием микроорганизмов, было известно и широко применялось еще в древнем Вавилоне.

Микроорганизмы синтезируют целый ряд ценных веществ. С развитием генной инженерии удается не только увеличить продуктивность биосинтеза, но и получать вещества, химическое производство которых ранее было невозможно. Пищевые добавки, аминокислоты, витамины, ароматизаторы, ферменты – вот далеко не полный перечень веществ, которые получают при помощи генетически модифицированных микроорганизмов. В ряде случаев, биотехнологические методы производства этих соединений уже заменили традиционный химический синтез.

Преимущества биотехнологического производства с использованием генетически модифицированных микроорганизмов очевидны: микроорганизмы быстро растут и, в большинстве случаев, легко культивируются. В отличие от традиционного химического синтеза, биосинтез протекает при нормальных условиях, а значит, для него не требуется создание таких дополнительных условий как повышенная температура, давление, или применение агрессивных химикатов.

Генетически модифицированные микроорганизмы используются в настоящее время для производства фармацевтических препаратов, вакцин, продуктов тонкого органического синтеза, пищевых добавок и других сопутствующих соединений пищевой промышленности. Вот только некоторые примеры продуктов микробного синтеза: витамин B2, витамин С, лимонная кислота, консерванты натамицин, низин, лизоцим, аминокислоты глутамат, аспартам, цистеин. Впечатляющим успехом является производство в промышленных масштабах человеческого инсулина, вырабатываемого генно-модифицированной кишечной палочкой.

Кроме крупных корпораций, биосинтезом сейчас занялись небольшие стартапы, выращивающие генно-модифицированные дрожжи. Роботизированные системы тасуют гены иногда с умыслом, иногда случайным образом, получая и проверяя десятки тысяч штаммов в месяц. Наиболее удачные выращиваются на продажу в чанах вместимостью 200 тыс. л в Бразилии — поближе к сахарному тростнику, который служит дрожжам пищей. Таким образом им удается получать различные вещества, гораздо более дешевые, чем оригиналы – от пряностей (ваниль, шафран, экстракты цитрусовых и сандалового дерева) до лекарств (пока известно о морфине и противомалярийном препарате артемизинине).

Методы биосинтеза с использованием микроорганизмов встречают в мире гораздо меньшее сопротивление, чем выращивание генно-модифицированных растений. Связано это с тем соображением, что в качестве продукции биосинтеза человеком употребляются не сами микроорганизмы, а продукты их метаболизма. Считается, что методы контроля качества исключают попадание генетического кода бактерий и грибов в конечный продукт, и этот продукт ничем не отличается от природного оригинала.

Нельзя, правда, не вспомнить о случае в США в конце 80-х годов, когда бактерия, генно-модифицированная для производства пищевой добавки триптофан, стала вдруг по неизвестным причинам также вырабатывать токсичное вещество этилен-бис-триптофан. В результате употребления пищевой добавки погибло 38 человек, и более тысячи стали инвалидами. К счастью, в дальнейшем подобных крупных инцидентов не было зафиксировано.

***Перспективы: Очень хорошие.*** Единственные недовольные голоса раздаются от разоряющихся производителей тех натуральных веществ, чья продукция постепенно вытесняется биосинтезом. Впрочем, подобные соображения в мире ещё никого не останавливали.

## 2.2. Использование микроорганизмов для утилизации промышленных и бытовых отходов.

Биотехнология активно применяется в целях очистки всех компонентов биосферы (воды, почвы, воздуха и др.) от загрязняющих веществ. Кроме того, существенным является не только сам процесс очистки, но и возможность использования выделенных отходов в качестве вторичного сырья.

Существуют микроорганизмы, для которых загрязнения, содержащиеся в сточных водах, являются питательными веществами. В начале ХХ века произошла революция в очистке сточных вод с помощью активного ила - сложной смеси микроорганизмов. Хотя при этом требуется перемешивать жидкость и непрерывно аэрировать её воздухом, такой способ позволяет перерабатывать большие объёмы стоков с самыми разнообразными загрязнениями от хозяйственно-бытовых до промышленных. Оставшийся ил затем подвергают брожению с получением ценного удобрения.

Многие выбросы в атмосферу содержат вредные или дурно пахнущие примеси. Для их очистки применяют биофильтры, заполненные насадкой, на которой закреплены специальные микроорганизмы. Вредные примеси сорбируются на насадке и затем потребляются и обезвреживаются микроорганизмами.

С утилизацией твердых отходов дело обстоит сложнее. Например, различные пластмассы, составляющие сейчас, наверное, основной компонент городских свалок, разлагаются в естественных условиях за сотни лет. Эффективной технологии микробиологической переработки пластмассы пока не найдено. Тем не менее, недавно появились сообщения, что на пластиковом мусоре, скапливающемся в океанах в виде плавучих островов, обнаружены обширные колонии микроорганизмов. На поверхности пластика при тщательном осмотре были найдены микроскопические трещины и ямки, появление которых косвенно демонстрирует способность данных микробов разлагать углеводороды. Это оставляет надежду на разработку технологии биодеградации пластмасс в ближайшем будущем.

Описаны также опыты по успешному очищению почвы от загрязнения пестицидами, ртутью и тяжелыми металлами. Опытные участки засеиваются модифицированными бактериями, способными перерабатывать или связывать опасные вещества. Причем бактерии высеиваются вместе с питательным веществом, дозировка которого строго рассчитана. По прошествии определенного срока времени питательное вещество заканчивается и бактерии, сделав своё дело, погибают. Так предотвращается неконтролируемый рост модифицированных бактерий. Технология, безусловно, будет в дальнейшем развиваться.

В 2010 году в Мексиканском заливе в ликвидации последствий разлива нефти участвовали бактерии-деструкторы, выведенные российскими учеными.

***Перспективы: С неизбежностью хорошие.*** Переработка промышленных и бытовых отходов микроорганизмами - дело, конечно, хлопотное. Особенно по сравнению с излюбленным традиционным методом утилизации - «свалил всё в овраг и забыл». Однако непрекращающийся рост промышленного производства и вообще населения Земли просто не оставляют альтернатив биологическим методам переработки отходов и загрязнений.

## 2.3. Биотопливо.

Биогаз — газ, получаемый водородным или метановым брожением биомассы. Метановое разложение биомассы происходит под воздействием трёх видов бактерий. В цепочке питания последующие бактерии питаются продуктами жизнедеятельности предыдущих. Первый вид — бактерии гидролизные, второй — кислотообразующие, третий — метанообразующие. Одной из разновидностей биогаза является биоводород, где конечным продуктом жизнедеятельности бактерий является не метан, а водород.

Биогаз можно получать практически из любого органического сырья. Раньше биогаз ассоциировался только с навозом, но сейчас его также получают из разнообразных отходов пищевой промышленности. Даже из отходов деревообрабатывающей промышленности можно извлекать биогаз, хотя целлюлоза и лигнин разлагается бактериями дольше.

Биогаз используют в качестве топлива для производства электроэнергии, тепла или в качестве автомобильного топлива. Биогазовые установки могут устанавливаться как очистные сооружения на фермах, птицефабриках, спиртовых заводах, сахарных заводах, мясокомбинатах.

Среди промышленно развитых стран ведущее место в производстве и использовании биогаза по относительным показателям принадлежит Дании — биогаз занимает до 18 % в её общем энергобалансе. В ряде стран Европы активно используются автобусы на биогазе.

В развивающихся странах Азии строят недорогие малые (односемейные) биогазовые установки. Получаемый в них газ используется для приготовления пищи. Больше всего малых биогазовых установок находится в Китае — более 40 млн биогазовых установок. В биогазовой индустрии Китая заняты 60 тысяч человек.

Еще одно перспективное биотопливо - обычный этанол, получаемый в процессе переработки растительного сырья. Этанол в Бразилии производится преимущественно из сахарного тростника, а в США — из кукурузы. Производство этанола из тростника на сегодняшний день экономически более выгодно, чем из кукурузы (из-за низких заработных плат у сборщиков сахарного тростника). Большим потенциалом также обладает маниок. Маниоку в больших количествах производят Китай, Нигерия, Таиланд.

Биоэтанол используется в основном как топливо для двигателей автомобилей. Обычный двигатель внутреннего сгорания может работать на топливе с процентным содержанием этанола до 15%. Для использования чистого этанола созданы другие двигатели (они называются Flex-fuel - «гибкое топливо»). Многотопливными также являются двигатели всех современных танков.

Использование биоэтанола в качестве топлива позволяет снизить выбросы диоксида углерода, являющегося парниковым газом. Содержащийся в этаноле кислород позволяет более полно сжигать углеводороды топлива. 10 % содержание этанола в бензине позволяет сократить выхлопы аэрозольных частиц до 50 %, выбросы угарного газа — на 30 %.

***Перспективы: Хорошие.*** Речь, конечно же, не идёт о полном переводе всей экономики Земли на биотопливо, мощностей просто не хватит. Тем не менее, этот экологически чистый источник энергии является существенным подспорьем для экономики стран с развитым агропромышленным комплексом, и, наоборот, для мелких крестьянских хозяйств в развивающихся странах.

# 3. Генная инженерия в применении к животным.

В отношении генно-модифицированных животных справедливы, в принципе, те же опасения, что и в случае генно-модифицированных растений. В настоящее время мясо генетически модифицированных животных использовать в пищу запрещено. Исследования тем не менее проводятся, в том числе и в нашей стране. Имеются определённые достижения в этой области и направления использования трансгенных животных весьма разнообразны. Одним из них является создание животных с улучшенными хозяйственными признаками: повышенной продуктивностью (например, усиление роста шерсти у овец). Другое — использование в качестве биофабрик по наработке различных медицинских препаратов (инсулина, интерферона, фактора свертываемости крови и гормонов), которые выделяются с молоком. Ведутся работы по созданию трансгенных свиней, чьи органы не отторгаются иммунной системой человека и могли бы использоваться для трансплантации.

Трансгенные лабораторные животные широко используются в исследовательских целях — на них моделируют различные заболевания человека, отрабатывают методы лечения, изучают функции различных генов и др. Дикой популярностью в лабораториях пользуются зелёные флуоресцирующие мышки, которым внедрили ген медузы Aequorea victoria.

***Перспективы: Неясные.*** Методы изменения генетической информации у животных намного сложнее, чем у растений или микроорганизмов. По словам ученых, многое декларируется, но не всё получается. ГМ-животные вряд ли будут в дальнейшем использоваться в качестве пищи, а вот в медицинских целях - вполне возможно.

# 4. Генная инженерия в медицине.

Наиболее захватывающие перспективы открываются перед генной инженерией именно в медицине. Производство лекарственных препаратов с помощью генно-модифицированных организмов и опыты по трансплантации органов животных уже упоминались. Но нас ждет нечто новое - генная терапия человека.

На людях технология генной инженерии была впервые применена для лечения четырёхлетней девочки, страдавшей от тяжёлой формы иммунодефицита. Работающая копия необходимого ей гена была введена в клетки крови с помощью модифицированного вируса. Клетки получили возможность самостоятельно производить необходимый белок.

После этого область генной терапии получила толчок к дальнейшему развитию. Сегодня мы знаем, что с помощью генной терапии можно лечить диабет, анемию, некоторые виды рака и даже очищать артерии. Сейчас идёт более 500 клинических испытаний различных видов генной терапии.

Наибольшие ожидания связаны с использованием стволовых клеток. Они являются неспециализированными клетками, которые возобновляют сами себя в течение долгого времени путем клеточного деления. При определенных физиологических или экспериментальных условиях они могут быть индуцированы для превращения в клетки со специальными функциями, такие как клетки сердечной мышцы или инсулин-синтезирующие клетки поджелудочной железы.

Области применения стволовых клеток обширны. Их можно пересадить в пораженный орган, где стволовые клетки превращаются в здоровые соматические. Так, в Японии в декабре 2007 года сообщили об успешном завершении эксперимента по восстановлению работы сердца путем пересадки клеток-миобластов, извлеченных из скелетной мышцы пациента. Новый метод оказался настолько эффективным, что врачи решили отказаться от пересадки сердца, которая была рекомендована больному до начала лечения.

Из стволовых клеток уже удалось вырастить в пробирке клетки печени, мышц, нейроны, роговицу глаза и даже целый мочевой пузырь. В ближайшем будущем ожидается, что из стволовых клеток пациента можно будет выращивать целые здоровые органы и пересаживать их донору клеток. Иммунная система должна принять такой орган за родной, что исключит возможность отторжения.

До недавнего времени в экспериментах использовались клетки эмбриона человека. По этическим соображениям, в развитых странах лечение стволовыми клетками было запрещено, но проводилось подпольно или в странах третьего мира без должного контроля. Существует мнение, что именно лечение некачественно очищенными стволовыми клетками привело к заметному изменению внешности бывшего президента Украины Ющенко.

Настоящая революция в генной терапии произошла в 2006 году, когда японскими учеными были получены так называемые индуцированные плюрипотентные стволовые клетки (ИПСК) из фибробластов взрослой мыши. Команда Шинья Яманака из Университета Киото определила гены, которые особенно активны в эмбриональных стволовых клетках, и использовала ретровирусы для трансфекции некоторых из этих генов в фибробласт. В следующем году эта же команда получила стволовые клетки из фибробласта человека, а затем - из клеток кожи и крови. А в 2012 году китайские ученые получили стволовые клетки и вовсе из урины (точнее, из эпителиальных клеток почек, выделяемых человеком в окружающую среду).

Самое невероятное, что в процессе перепрограммирования дифференцированных клеток в стволовое состояние и обратно, над генетическим материалом можно провести корректирующие манипуляции. Затем дважды перепрограммированные, но уже здоровые клетки возвращаются в исходный организм. Для демонстрации этой возможности в лаборатории профессора Рудольфа Джениша избавили взрослую мышь от ранее неизлечимого генетического заболевания - серповидно-клеточной анемии.

В конце текущего 2013 года в Японии впервые собираются провести лечение людей новым методом - пациентов с тяжелой формой возрастной дегенерации желтого пятна – заболеванием, являющимся наиболее распространенной причиной слепоты среди людей старше 50 лет. Планируется взять биопсию кожи с предплечья пациента размером с горошину и выделить его взрослые клетки, которые затем, путем внесения специальных белков, будут перепрограммированы в ИПСК. Добавление других факторов приведет к трансформации ИПСК в клетки сетчатки. Затем небольшой пласт клеток будет помещен в поврежденную область сетчатой оболочки глаза, где при удачном исходе вмешательства клетки начнут расти и восстанавливать пигментный эпителий.

В текущем 2013 году появились сообщения, что исследователи из Калифорнийского Университета Сан-Франциско разработали новый способ точного «выключения» генов, названный CRISPR-интерференция. Разработанная технология основана на поиске короткой последовательности ДНК в геноме и контроле экспрессии гена там, где эта последовательность расположена. Исследователи намерены далее объединить эту платформу с ферментом, который запустит систему не только для выключения, но и включения генов.

Комбинация CRISPR-интерференции и перепрограммирования клеток сулит фантастические возможности для лечения людей на самом глубинном генетическом уровне из всех возможных. Управляя точным включением и выключением генов, а значит, управляя генерацией в организме конкретных белков и ферментов, можно в перспективе вылечить абсолютно любое заболевание вплоть до рака и СПИДа.

***Перспективы: Захватывающие.*** Мы стоим на пороге величайших достижений в медицине. На наших глазах начинают осуществляться самые невероятные достижения генной инженерии в лечении человека.

# Использованные материалы.

При подготовке обзора использовались материалы следующих ресурсов:

Интернет-журнал «Коммерческая биотехнология» http://www.cbio.ru/

Интернет-портал «Мой компас» http://moikompas.ru/

Проект «DailyTechInfo» http://www.dailytechinfo.org/

Проект «Биотехнология» http://www.biotechnolog.ru/

Проект «Alt-Fuel.info» http://alt-fuel.info/

Проект «Компьюлента» http://www.computerra.ru/lenta/

и других открытых источников в сети Интернет.