ПРИДНЕСТРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Т.Г. ШЕВЧЕНКО

Естественно-географический факультет

Кафедра зоологии и общей биологии

ГЕНЕТИЧЕСКИ-МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ОРГАНИЗМЫ И БИОБЕЗОПАСНОСТЬ

Курс лекций для студентов биологических специальностей

Тирасполь, 2018

УДК [575.856:504] (075.8)
ББК Е04я73+П006я73
Г34

Составители:
И.И. Игнатьев, Т.Н. Звездина, С.И. Филипенко

Рецензенты:
В.А. Шептицкий, д.б.н., проф.
Г.В. Золотарева, к.б.н., доц.

Г34 **Генетически**-модифицированные организмы и биобезопасность: Курс лекций для студентов биологических специальностей / Сост.: И.И. Игнатьев, Т.Н. Звездина, С.И. Филипенко. – Тирасполь, 2018. – 88 с.

Методическое пособие «Генетически-модифицированные организмы и биобезопасность» предназначено для студентов бакалавриата направления подготовки 06.03.01 «Биология», 44.03.01 «Педагогическое образование», профиль «биология» и магистратуры направления 06.04.01 «Биология». Содержит теоретический материал в виде курса лекций по дисциплине.

УДК [575.856:504] (075.8)
ББК Е04я73+П006я73

Рекомендовано Научно-методическим советом ПГУ им. Т.Г. Шевченко

© И.И. Игнатьев, Т.Н. Звездина, С.И. Филипенко, составление, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4

ЛЕКЦИЯ 1
ВВЕДЕНИЕ В ПРОБЛЕМАТИКУ 5

ЛЕКЦИЯ 2
ПОЛУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРАНСГЕННЫХ ОРГАНИЗМОВ 9

ЛЕКЦИЯ 3
СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГМО И ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ РИСКИ, СВЯЗАННЫЕ С ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 29

ЛЕКЦИЯ 4
РАСПРОСТРАНЕНИЕ ГМ-КУЛЬТУР 47

ЛЕКЦИЯ 5
ПРОБЛЕМЫ БИОБЕЗОПАСНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГМО . 57

ЛЕКЦИЯ 6
ГМО И ОБЕСПЕЧЕНИЕ БИОБЕЗОПАСНОСТИ 66

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ. 76

ЛИТЕРАТУРА. 87

ВВЕДЕНИЕ

Курс «Генетически-модифицированные организмы и биобезопасность» читается как отдельная дисциплина, а также является составной частью курса «Современные проблемы биологии». Курс призван обеспечить специальную подготовку студентов бакалавриата и магистратуры в области ГМО и биобезопасности .

Основные его задачи: расширить профессиональный кругозор будущих специалистов высшей квалификации в предметной области биологических наук; ознакомить студентов с наиболее актуальными направлениями современных биологических исследований и их прикладными аспектами; углубить специальные знания по наиболее актуальным вопросам современной биологии.

В учебно-методическом пособии представлены материалы по получению и использованию трансгенных организмов. Подробно описываются проблемы биобезопасности, связанные с широкомасштабным использованием генетически модифицированных растений в сельском хозяйстве, приводится информация о национальной и международной системе биобезопасности, что позволяет в целом углубить специальные знания студентов при изучении дисциплин «Генетика», «Биотехнология», «Экология и рациональное природопользование».

ЛЕКЦИЯ 1

ВВЕДЕНИЕ В ПРОБЛЕМАТИКУ

Число жителей Земли за последнее столетие увеличилось с 1.5 до 5.5 млрд. человек, а к 2020 году предполагается рост до 8 млрд., таким образом, возникает огромная проблема увеличения производства продуктов питания. Другая проблема возникла с широким использованием химически синтезированных препаратов в современной медицине. В развитых странах лекарственные средства на 25% состоят из природных веществ, выделенных из растений. Открытия последних лет (противоопухолевые препараты: таксол, подофиллотоксин) свидетельствуют о том, что растения еще долго будут оставаться источником полезных биологически-активных веществ (БАВ), и что способности растительной клетки к синтезу сложных БАВ все еще значительно превосходят синтетические способности биохимической промышленности. Вот почему ученые взялись за проблему создания трансгенных растений.

Коммерческое использование ГМО и ГМ (генетически модифицированных) продуктов является сейчас одной из актуальных проблем современной биотехнологии. Неочевидны последствия их использования: учёные-генетики пока не могут ответить на вопрос, безвредны ли ГМО и ГМ-продукты для человека и окружающей среды.

ВОПРОСЫ

1. Виды ГМО

2. Преимущества генетически модифицированных организмов

3. Потенциальная опасность генетически модифицированных организмов

4. Последствия употребления генетически модифицированных продуктов для здоровья человека

5. Последствия распространения ГМО для экологии Земли

1. Виды ГМО

Первые генетически модифицированные организмы были получены в конце 80-х годов двадцатого века. В 1992 году в Китае начали выращивать табак, который «не боялся» вредных насекомых. Но начало массовому производству модифицированных продуктов положили в 1994 году, когда в США появились помидоры, которые не портились при перевозке.

ГМО объединяют три группы организмов:

1. генетически модифицированные микроорганизмы (ГММ);

2. генетически модифицированные животные (ГМЖ);

3. генетически модифицированные растения (ГМР) – наиболее распространенная группа.

На сегодня в мире существует несколько десятков линий ГМ-культур: сои, картофеля, кукурузы, сахарной свеклы, риса, томатов, рапса, пшеницы, дыни, цикория, папайи, кабачков, хлопка, льна и люцерны. Массово выращиваются ГМ-соя, которая в США уже вытеснила обычную сою, кукуруза, рапс и хлопок.

Посевы трансгенных растений постоянно увеличиваются. В 2006 году ГМ-культуры выращивали в 22 странах мира, среди которых Аргентина, Австралия, Канада, Китай, Германия, Колумбия, Индия, Индонезия, Мексика, Южная Африка, Испания, США. Основные мировые производители продукции, содержащую ГМО – США (68%), Аргентина (11,8%), Канада (6%), Китай (3%).

2. Плюсы генетически модифицированных организмов

Защитники генетически модифицированных организмов утверждают, что ГМО – единственное спасение человечества от голода. По прогнозам ученых население Земли до 2050 года может достигнуть 9 -11 млрд. человек, естественно возникает необходимость удвоения, а то и утроения мирового производства сельскохозяйственной продукции.

Для этой цели, генетически модифицированные сорта растений отлично подходят – они устойчивы к болезням и неблагоприятным погодным условиям, быстрее созревают и дольше хранятся, умеют самостоятельно вырабатывать инсектициды против вредителей. ГМ-растения способны расти и приносить хороший урожай даже там, где старые сорта просто не могли выжить из-за жёстких погодных условий.

Но интересный факт: ГМО позиционируют как панацею от голода для спасения африканских и азиатских стран. Только вот почему-то страны Африки последние 5 лет не разрешают ввозить на свою территорию продукты с ГМ-компонентами, хотя и выращивают ГМ-растения. Не странно ли?

3. Опасность генетически модифицированных организмов

Специалисты-противники ГМО утверждают, что они несут три основных угрозы:

1) Угроза организму человека – аллергические заболевания, нарушения обмена веществ, появление желудочной микрофлоры, стойкой к антибиотикам, канцерогенный и мутагенный эффекты.

2) Угроза окружающей среде – появление вегетирующих сорняков, загрязнение исследовательских участков, химическое загрязнение, уменьшение генетической плазмы и др.

3) Глобальные риски – активизация критических вирусов, экономическая безопасность.

4. Последствия употребления генетически модифицированных продуктов для здоровья человека

Ученые выделяют следующие основные риски потребления в пищу генетически модифицированных продуктов:

1. Угнетение иммунитета, аллергические реакции и метаболические расстройства, в результате непосредственного действия трансгенных белков.

Влияние новых белков, которые продуцируют встроенные в ГМО гены, неизвестно. Человек их раньше никогда не употреблял и поэтому не ясно, являются ли они аллергенами.

Показательным примером является попытка скрещивания генов бразильского ореха с генами соевых бобов – задавшись целью повысить питательную ценность последних, было увеличено в них содержание протеина. Однако, как выяснилось впоследствии, комбинация оказалась сильным аллергеном, и ее пришлось изъять из дальнейшего производства.

В Швеции, где трансгены запрещены, болеют аллергией 7% населения, а в США, где они продаются даже без маркировки - 70,5%.

Также по одной из версий, эпидемия менингита среди английских детей была вызвана ослаблением иммунитета в результате употребления ГМ-содержащих молочного шоколада и вафельных бисквитов.

2. Различные нарушения здоровья в результате появления в ГМО новых, незапланированных белков или токсичных для человека продуктов метаболизма.

Уже существуют убедительные доказательства нарушения стабильности генома растения при встраивании в него чужеродного гена. Все это может послужить причиной изменения химического состава ГМО и возникновения у него неожиданных, в том числе токсических свойств.

Например, для производства пищевой добавки триптофан в США в конце 80-х гг. XX века была создана ГМ-бактерия. Однако вместе с обычным триптофаном, по невыясненной до конца причине, она стала вырабатывать этилен-бис-триптофан. В результате его употребления заболело 5 тысяч человек, из них – 37 человек умерло, 1500 стали инвалидами.

Независимые эксперты утверждают, что генно-модифицированные культуры растений выделяют в 1020 раз больше токсинов, чем обычные организмы.

3. Появление устойчивости патогенной микрофлоры человека к антибиотикам.

При получении ГМО до сих пор используются маркерные гены устойчивости к антибиотикам, которые могут перейти в микрофлору кишечника, что было показано в соответствующих экспериментах, а это, в свою очередь, может привести к медицинским проблемам – невозможности вылечивать многие заболевания.

В ЕС с декабря 2004 г. запрещена продажа ГМО с использованием генов устойчивости к антибиотикам. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) рекомендует производителям воздержаться от использования этих генов, однако корпорации от них полностью не отказались. Риск таких ГМО, как отмечается в оксфордском Большом энциклопе-

дическом справочнике, достаточно велик и «приходится признать, что генная инженерия не настолько безобидна, как это может показаться на первый взгляд».

4. Нарушения здоровья, связанные с накоплением в организме человека гербицидов.

Большинство известных трансгенных растений не погибают при массовом использовании сельскохозяйственных химикатов и могут их аккумулировать. Есть данные о том, что сахарная свекла, устойчивая к гербициду глифосат, накапливает его токсичные метаболиты.

5. Сокращение поступления в организм необходимых веществ.

По мнению независимых специалистов, до сих пор нельзя точно сказать, например, является ли состав обычных соевых бобов и ГМ-аналогов эквивалентным или нет. При сравнении различных опубликованных научных данных выясняется, что некоторые показатели, в частности, содержание фитоэстрогенов, в значительной степени разнятся.

6. Отдаленные канцерогенный и мутагенный эффекты.

Каждая вставка чужеродного гена в организм – это мутация, она может вызывать в геноме нежелательные последствия, и к чему это приведет – никто не знает, и знать на сегодняшний день не может.

По данным исследований британских ученых в рамках государственного проекта «Оценка риска, связанного с использованием ГМО в продуктах питания для человека» обнародованных в 2002 г., трансгены имеют свойство задерживаться в организме человека и в результате так называемого «горизонтального переноса» встраиваться в генетический аппарат микроорганизмов кишечника человека. Ранее подобная возможность отрицалась.

5. Последствия распространения ГМО для экологии земли

Помимо опасности для здоровья человека, учеными активно обсуждается вопрос, какую потенциальную угрозу несут биотехнологии для окружающей среды.

Приобретенная ГМ-растениями устойчивость к гербицидам может сослужить плохую службу, если трансгенные культуры начнут бесконтрольно распространяться. Например, люцерна, рис, подсолнечник – по своим характеристикам очень похожи на сорняки, и с их произвольным ростом будет непросто справиться.

В Канаде – в одной из основных стран-производителей ГМО-продукции, подобные случаи уже зафиксированы. По сообщению газеты The Ottawa Citizen, канадские фермы оккупировали генетически модифицированные «суперсорняки», которые возникли в результате случайного скрещивания трех видов ГМ-рапса, устойчивых к разным видам гербицидов. В результате получилось растение, которое, как утверждает газета, устойчиво практически ко всем сельскохозяйственным химикатам.

Похожая проблема возникнет и в случае перехода генов устойчивости к гербицидам от культурных растений к другим дикорастущим видам. Например, замечено, что выращивание трансгенной сои приводит к генетическим мутациям сопутствующих растений (сорняков), которые становятся невосприимчивыми к воздействию гербицидов.

Не исключена и возможность передачи генов, которые кодируют выработку белков, токсичных для насекомых-вредителей. Сорные травы, вырабатывающие собственные инсектициды, получают огромное преимущество в борьбе с насекомыми, которые часто являются естественным ограничителем их роста.

Кроме того, под угрозу попадают не только вредители, но и другие насекомые. В авторитетном журнале «Nature» опубликована статья, авторы которой объявили, что посевы трансгенной кукурузы угрожают популяциям охраняемого вида бабочек-монархов, её пыльца оказалась токсичной для их гусениц. Подобный эффект, разумеется, не предполагался создателями кукурузы - она должна была отпугивать лишь насекомых-вредителей.

К тому же живые организмы, питающиеся трансгенными растениями, могут мутировать – согласно исследованиям, проведенным немецким зоологом Хансом Каацем (Hans Kaaz), пыльца модифицированного масленичного турнепса вызывала мутации бактерий, живущих в желудке пчел.

Существует опасение, что все эти эффекты в долгосрочной перспективе могут вызвать нарушение целых пищевых цепочек и, как следствие, баланса внутри отдельных экологических систем и даже исчезновение некоторых видов.

ЛЕКЦИЯ 2

ПОЛУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРАНСГЕННЫХ ОРГАНИЗМОВ

ВОПРОСЫ

1. Биотехнология и генная инженерия

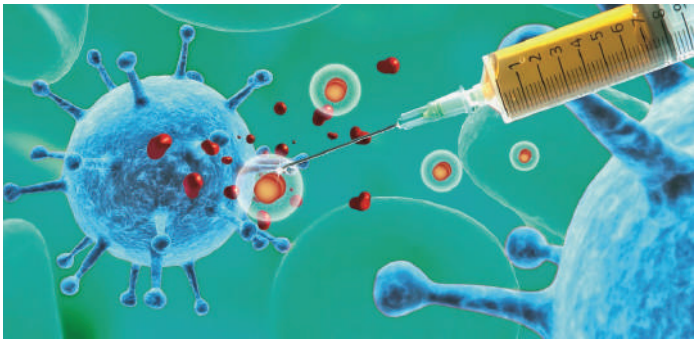
2. Векторные системы для введения генетической информации в растительные клетки

3. Современные направления в технологии создания генетически модифицированных растений

4. Ограничения и риски генетической инженерии

1. Биотехнология и генная инженерия

Современная биотехнология – это новое научно-техническое направление, возникшее в 60–70-х гг. прошлого столетия. Ее можно определить как производственное использование целых живых организмов (микроорганизмов, растительных и животных клеток), их частей (клеточ-



ные мембраны, рибосомы, митохондрии, хлоропласты) и продуктов их жизнедеятельности для решения технологических задач и получения ценных продуктов, а также создание живых организмов с необходимыми свойствами методами генной инженерии. Для этого в биотехнологических процессах используются такие биологические макромолекулы, как рибонуклеиновые кислоты (ДНК, РНК) и белки (чаще всего ферменты).

В узком смысле биотехнология есть совокупность методов и приемов разработки и введения в сферу потребления полезных для человека продуктов, включая методы генной, клеточной и экологической инженерии. Поскольку биотехнологические методы используются в различных отраслях промышленности и затрагивают многие сферы жизни человека, в мире принята следующая «цветовая» классификация биотехнологии в зависимости от областей ее применения: «красная» – обеспечение поддержки здоровья и прогрессивного развития методов лечения человека (вплоть до коррекции его генома), а также производство биофармпрепаратов (протеинов, ферментов, антител); «зеленая» – разработка и создание генетически модифицированных (ГМ) растений, устойчивых к биотическим и абиотическим стрессам; оптимизация методов ведения сельского и лесного хозяйства; «белая» – промышленная, объединяющая производство в пищевой, химической (в том числе биотопливо) и нефтеперерабатывающей индустрии; «серая» – природоохранная деятельность, биоремедиация; «синяя» – использование морских организмов и сырьевых ресурсов (Рис. 1).

цвет	Сфера применения
Красный	Здравоохранение, медицина, диагностика
Зеленый	Сельское хозяйство, биоудобрения, геомикробиология
Белый	Промышленная биотехнология
Серый	Природоохранная деятельность, биоремедиация
Синий	Морская и прибрежная биотехнология, аквакультура

Рис. 1. «Цветовая» классификация биотехнологии

Основой «зеленой» биотехнологии является генная, или генетическая инженерия, – совокупность приемов, методов и технологий получения рекомбинантных РНК и ДНК, выделения генов из организма (клеток) или биохимического синтеза генов на основе знания об их строении, осуществления манипуляций с генами и введения их в другие организмы, – имеющая своим результатом создание генетически модифицированных организмов (ГМО).

Рекомбинантная ДНК – это искусственно созданная человеком последовательность ДНК, части которой синтезируются химическим путем с помощью полимеразной цепной реакции (ПЦР) или клонируются из ДНК различных организмов. Эти рекомбинантные ДНК встраивают в состав бактериальных плазмид или вирусных векторов, которыми затем трансформируют клетки живых организмов (микроорганизмов, растений, животных). Генетически модифицированные животные и растения обычно содержат рекомбинантные гены, встроенные непосредственно в их хромосомы.

В технологии рекомбинантных ДНК используются следующие методы:

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

• изучение нуклеотидной последовательности (секвенирование) в очищенном фрагменте ДНК, что позволяет определить границы гена, его структурные элементы и аминокислотную последовательность, кодируемую этим геном;

• конструирование рекомбинантной ДНК (Рис. 2, 3);

• гибридизация нуклеиновых кислот, позволяющая выявлять специфические последовательности РНК или ДНК с большой точностью и чувствительностью, основанная на их способности связывать комплементарные последовательности нуклеиновых кислот;

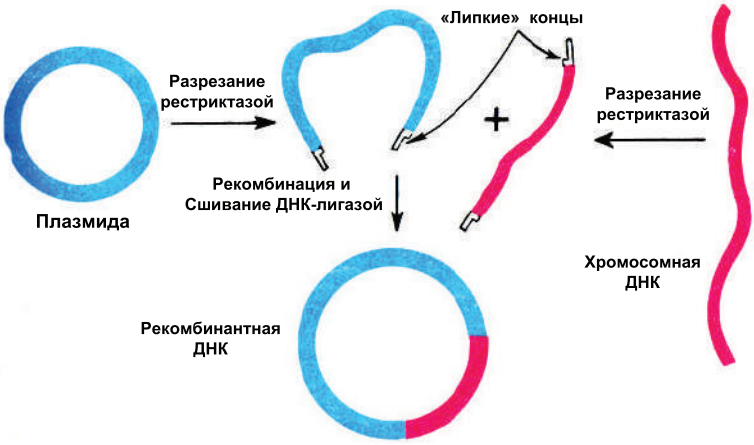


Рис. 2. Схема получения рекомбинантной ДНК по Коену-Бойеру

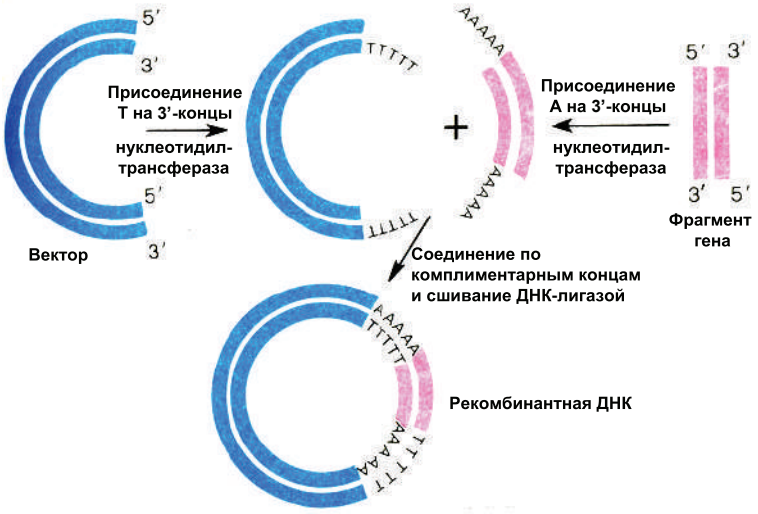


Рис. 3. Конструирование рекомбинантной ДНК по Лобану-Бергу

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

• введение рекомбинантной ДНК в клетки или организмы (трансформация).

Методом генной инженерии уже получен ряд препаратов медицинского назначения, в том числе инсулин человека и противовирусный препарат интерферон путем создания рекомбинантных плазмид, несущих соответствующие целевые гены. Поскольку плазмидная ДНК представляет собой замкнутую кольцевую молекулу, кольцо сначала разрывают, чтобы его свободные концы были в химическом отношении реакционноспособными. Это достигается с помощью различных ферментов, называемых нуклеазами (рестриктазами). Затем фрагменты ДНК соединяют с помощью лигаз – ферментов, исправляющих повреждения в ДНК и сшивающих концы ее разорванных нитей. Именно таким путем на заре генной инженерии плазмиды из штамма *Esherichia coli*, устойчивого к тетрациклину, и плазмиды из штамма, устойчивого к другому антибиотику, канамицину, были соединены и был получен штамм *E. coli*, устойчивый к обоим антибиотикам. Перенос плазмид с нужными генами в микроорганизмы превращает их в биореакторы по производству искомых веществ.

Начиная с 1982 г. фирмы США, Японии, Великобритании и ряда других стран производят генно-инженерный инсулин для лечения диабета. Из тысячи литров бактериальной культуры получают приблизи-

тельно 200 г инсулина, что равно количеству, получаемому из 1600 кг поджелудочной железы животных.

Интерферон – белок, синтезируемый организмом в ответ на вирусную инфекцию, – изучают сейчас как возможное средство лечения рака и СПИДа. Всего один литр бактериальной культуры дает такое количество интерферона, для получения которого потребовалось бы ~10 тыс. литров крови человека. Методами генной инженерии удалось создать и ряд вакцин, которые испытываются для проверки эффективности их воздействия на вирус иммунодефицита человека (ВИЧ). С помощью рекомбинантной ДНК получают и человеческий гормон роста, являющийся единственным средством лечения редкой детской болезни – гипофизарной карликовости.

Перспективным продуктом можно считать и человеческий гормон соматостатин, биотехнологические полученные аналоги которого весьма перспективны при лечении опухолевых заболеваний и акромегалии (Рис. 4).

Большим преимуществом данных генно-инженерных лекарственных препаратов является отсутствие при их использовании негативных

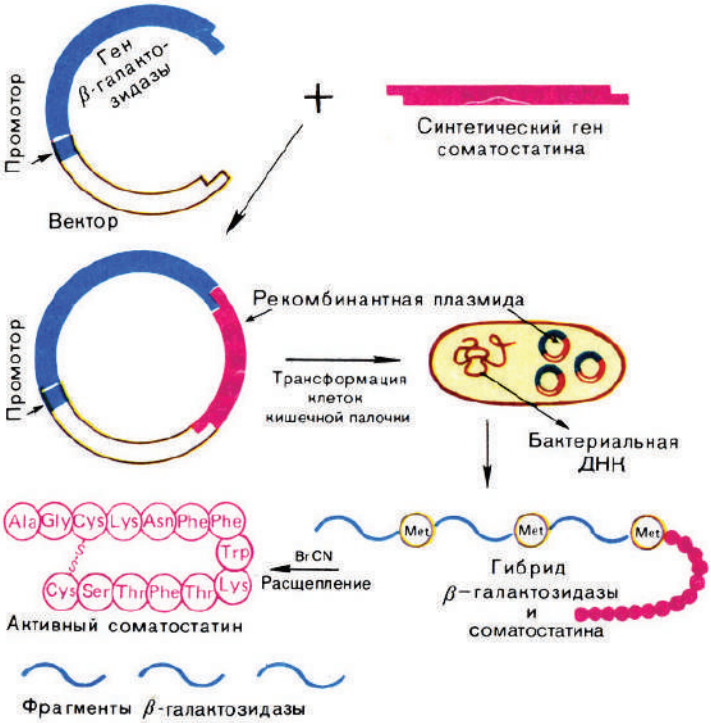


Рис. 4. Получение человеческого гормона соматостатина в клетках кишечной палочки

побочных эффектов, характерных для препаратов, полученных из тканей животных или человека.

Технология рекомбинантных ДНК сделала возможным нетрадиционный подход белок–ген, получивший название обратной генетики. При таком подходе из клетки выделяют белок, синтезируют и клонируют ген этого белка, модифицируют его, создавая мутантный ген, кодирующий измененную форму белка. Полученный ген вводят в клетку. Если он экспрессируется, несущая его клетка и ее потомки будут синтезировать измененный белок. Таким образом, можно исправлять дефектные гены и лечить наследственные заболевания.

Если гибридную ДНК ввести в оплодотворенную яйцеклетку животных, могут быть получены трансгенные организмы, экспрессирующие модифицированный ген и передающие его потомкам. С помощью генетической инженерии созданы линии животных, устойчивых к вирусным заболеваниям, а также породы с полезными для человека признаками. Например, микроинъекция рекомбинантной ДНК, содержавшей ген соматотропина быка, в зиготу кролика позволила получить трансгенное животное с гиперпродукцией этого гормона. Полученные животные обладали ярко выраженной акромегалией. Кроме чисто практической полезности генетической трансформации животных, она позволяет решать и некоторые задачи фундаментальной науки. Например, она может оказать большую помощь в установлении роли отдельных генов и их белковых продуктов как в регуляции активности других генов, так и в различных патологических процессах.

2. Векторные системы для введения генетической информации в растительные клетки

Вектор - молекула ДНК или РНК, состоящая из двух компонентов: *векторной части* (носителя) и клонируемого *чужеродного гена*.

Вектор должен обеспечить решение следующих задач:

- введение желаемой ДНК в клетку-рецепиент;
- встраивание ее в геном клетки-реципиента;
- обеспечение идентификации трансформированных клеток;
- обеспечение стабильной экспрессии введенного гена.

Для диагностики трнсгенности организма вместе с генами, кодирующими желаемые признаки, в клетку-реципиент вводят маркерные гены.

Вектор должен обладать следующими характеристиками:

- быть небольшим по размеру;
- способным реплицироваться в клетке-хозяине;
- амплифицироваться (многократно копироваться);
- экспрессировать соответствующий ген;
- обладать маркерными признаками, позволяющими различать гибридные клетки для их эффективной селекции;
- интегрироваться в клетки соответствующего организма.

Ввести чужеродную, так называемую целевую, ДНК в растения можно различными способами. Для двудольных растений существует

естественный вектор для горизонтального переноса генов: плазмиды агробактерий. Что касается однодольных, то, хотя в последние годы достигнуты определенные успехи в их трансформации агробактериальными векторами, однако подобный путь трансформации встречает существенные затруднения.

Векторы на основе Ti-плазмиды *Agrobacterium tumefaciens*. Почвенная бактерия *A. tumefaciens* вызывает образование опухолей стебля двудольных растений – так называемых корончатых галлов. Бактерии прикрепляются к клеткам растения в местах повреждений. Сайтами связывания на поверхности бактерий, видимо, являются молекулы β-глюкана и О-антигенной цепи липополисахарида внешней мембраны.

Кроме *A. tumefaciens*, к агробактериальной трансформации способны и некоторые другие бактерии этого же рода: *A. rhizogenes* – вызывает заболевание, именуемое «бородатый корень», при котором в зоне повреждения корня образуется масса новых корешков; *A. rubi* обычно индуцируют неорганизованные опухоли (тератомы), тогда как штаммы *A. radiobacter* авирулентны.

Способность *A. tumefaciens* индуцировать у растений образование опухолей типа «корончатого галла» коррелирует с наличием у них Ti-плазмиды (Рис. 5). Опухолевая трансформация проявляется в гипертрофии, возникающей после проникновения агробактерий в пораненные участки (сайты) растений. Трансформация является результатом стабильного ковалентного включения (инсерции или интеграции) сегмента («transferred» или Т-ДНК) большой плазмиды (pTi – tumor inducing или pRi – root inducing) бактерий в ядерную ДНК растительной клетки.

Ткани корончатых галлов содержат наиболее высокие уровни ауксина и цитокининов. Кроме того, выявлено еще одно наследуемое изменение в клетках корончатых галлов – это синтез опинов. Необычное

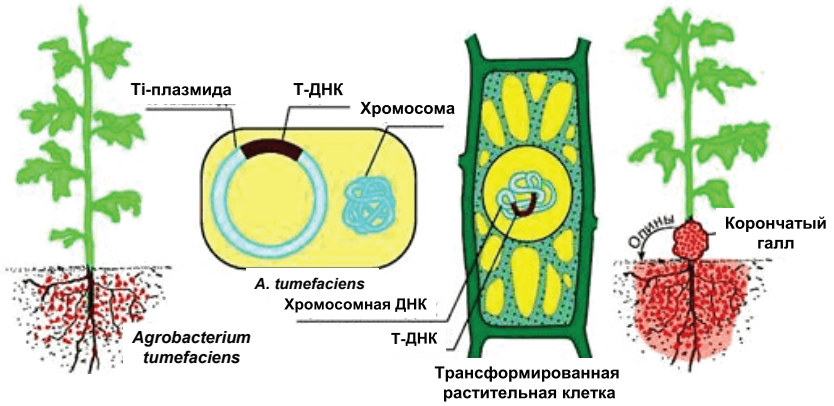


Рис. 5. Генетическая колонизация растения A. tumefaciens.
Примечание: 1 – агробактерии существуют в ризосфере; 2 – строение A. tumefaciens; 3 – встраивание Т-ДНК в геном; 4 – образование опухоли

для растений соединение, производное аргинина, обнаруженное лишь в определенных опухолевых линиях, было названо октопином. Затем было показано, что другими опухолевыми линиями синтезируется еще одно соединение – нопалин, также производное аргинина. В зависимости от типа индуцируемого в опухоли опина штаммы *A. tumefaciens* и находящиеся в них Ti-плазмиды получили соответствующее обозначение – октопиновые или нопалиновые (Рис. 6).

Подробная информация о структуре плазмид *Agrobacterium* получена путем их рестрикционного или физического картирования. В результате исследований обнаружены четыре основные области гомологии между октопиновой и нопалиновой плазмидами. Две консервативные (области A и D) вовлечены в онкогенность, еще одна (B) соответствует области контроля репликации плазмиды, в то время как последняя (C) кодирует функции конъюгативного переноса.

Последовательности Ti-плазмиды, фланкирующие Т-ДНК (пограничные или концевые области), играют важную роль в интеграции в растительный геном и содержат несовершенные прямые повторы по 24–25 п. н. Делеция левой границы Т-ДНК не влияет на опухолеобразование, но удаление правой пограничной области приводит практически к полной утрате вирулентности. Показано, что делеция правого повтора или его части приводит к потере способности Т-ДНК включаться в растительную ДНК.

Учитывая важную роль концов Т-области в переносе Т-ДНК, можно предположить, что любой сегмент ДНК, встроенный между этими концами, может быть перенесен в растения как часть Т-ДНК. Плазмиды модифицируют таким образом, чтобы удалить все онкогенные последовательности, так как они не принимают участие ни в переносе, ни в интеграции в геном клетки-хозяина. На место этих генов можно встроить

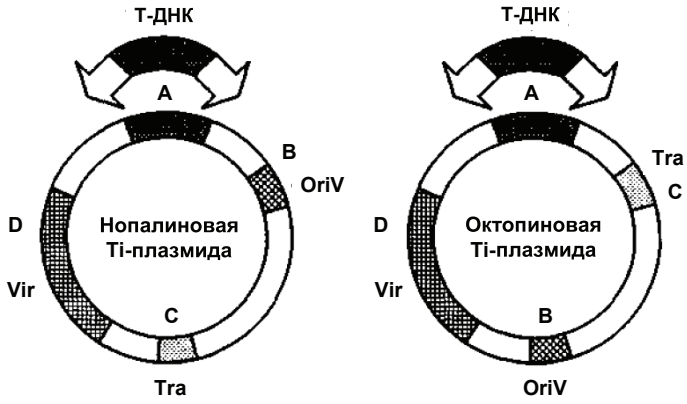


Рис. 6. Структура Ti-плазмид нопалинового и октопинового типа.
Примечание: показаны область собственного Т-ДНК и участки, кодирующие функцию конъюгации (Tra), репликации (Ori V) и вирулентности (Vir)

чужеродную ДНК, при этом плазмида теряет свои онкогенные свойства. Неонкогенные Т-ДНК, присутствующие в растениях-регенерантах, при их гибридизации с интактными растениями наследуются согласно законам Менделя.

Род Agrobacterium имеет очень широкий круг растений-хозяев и может инфицировать практически все двудольные растения. Долгое время считалось, что однодольные растения не чувствительны к агробактериальной инфекции. В настоящее время показано, что при соблюдении определенных условий агробактерии могут инфицировать однодольные растения, в частности представителей таких семейств, как амариллисовые (Amaryllidaceae), лилейные (Liliaceae), зерновые (Gramineae), ирисовые (Iridaceae) и некоторые другие. Однако отмечены определенные вариации круга хозяев для различных штаммов Agrobacterium: некоторые штаммы способны вызывать галлообразование на отдельных видах растений, но не инфицируют другие. Различные сорта одного и того же растения также могут иметь различную чувствительность к данному бактериальному штамму.

Невозможность заражения в природе обусловливается отсутствием соответствующих рецепторов, необходимых для взаимодействия с бактериями. Другим фактором, препятствующим инфицированию однодольных агробактериями, возможно, является отсутствие в клетках растений низкомолекулярных индукторов вирулентности Agrobacterium, например цетосирингона, которые обычно присутствуют в клеточном соке при ранении двудольных растений.

Коинтегративные и бинарные векторы. Разработаны два метода для введения Ti-плазмидных последовательностей, содержащих нужный ген, в растение.

Первый метод – метод «промежуточных векторов» (cis-, или коинтегративных векторов) – основан на использовании гомологичной рекомбинации между плазмидой кишечной палочки pBR 322 и Ti-плазмидой агробактерии (Рис. 7).

Т-ДНК вырезают из Ti-плазмиды с помощью рестриктаз и встраивают в плазмиду pBR 322 для клонирования в *E. coli*. Бактерии, содержащие плазмиду с Т-ДНК, размножают, после чего эту плазмиду выделяют. Затем в клонированную Т-ДНК с использованием рестриктаз встраивают нужный ген. Эту рекомбинантную молекулу, содержащую Т-ДНК со встроенным в нее геном, снова размножают, т.е. клонируют в кишечной палочке; затем с помощью конъюгации вводят в клетки агробактерии, несущие полную Ti-плазмиду.

Между Т-сегментами нативной Ti-плазмиды и промежуточного вектора происходит гомологичная рекомбинация. В результате этого Т-ДНК со встроенным геном включается в нативную Ti-плазмиду, замещая исходную ДНК. Получаются клетки *A. tumefaciens*, несущие Ti-плазмиды со встроенными в Т-сегмент нужными генами. Далее их перенос в клетки растения осуществляется обычным способом, характерным для агробактерий.

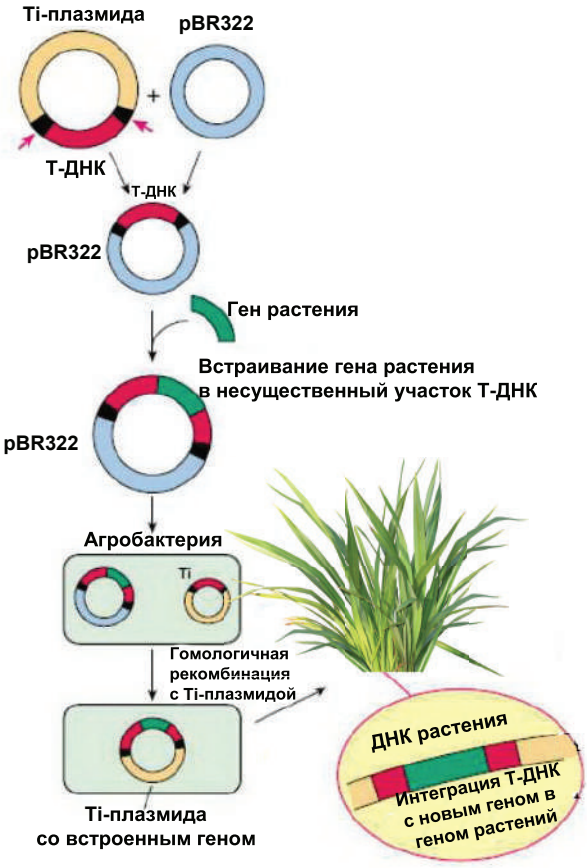


Рис. 7. Создание коинтегративного вектора на основе Ti-плазмиды

Второй метод основан на создании *системы trans-, или бинарных (двойных), векторов*.

Эти векторы не имеют гомологии с Т-ДНК. Они обязательно содержат сайт начала репликации (ori) от плазмиды с широким кругом хозяев либо ori-сайты как Agrobacterium, так и *E. coli*, благодаря чему способны автономно реплицироваться в обоих этих микроорганизмах.

При создании современных трансгенных сортов растений в основном используют бинарные векторные системы. Вектор представляет собой плазмиду, которая содержит сайт начала репликации (ori), а также по 25 п.н. левого и правого краев Т-ДНК, между которыми расположены нужные исследователю гены с соответствующими регуляторными элементами. Конструируют их исключительно методами технологии рекомбинантных ДНК. Методы традиционной селекции микроорганизмов,

основанные на гомологичной рекомбинации, практически не используются. Такие плазмиды можно клонировать в *E. coli*, где они способны автономно реплицироваться.

На рис. 8 представлен пример плазмидного бинарного вектора. Вектор pMON10117 использован при создании томатов с удлиненным сроком созревания благодаря пониженному уровню синтеза этилена – фитогормона, регулирующего процесс созревания плодов (встраивание гена, кодирующего фермент ACC-деаминазу; этот фермент играет важную роль в биосинтезе этилена). По внешнему периметру плазмиды отмечены сайты рестрикции соответствующих рестриктаз, а также номера последовательностей нуклеотидов, начиная с правого края (Right border). По внутреннему периметру отмечена последовательность генетических элементов, содержащихся на плазмиде. В ДНК трансгенных растений включена часть плазмиды (Т-ДНК), ограниченная левым и правым краями (Left and Right borders). Ori-322 и ori-V-сайты начала репликации плазмиды соответственно в *E. coli* и *A. tumefaciens*.

После клонирования, изучения и отбора нужных конструкций генов отселектированные бинарные векторы переносят в специальные штаммы, созданные на основе высоковирулентных штаммов Agrobacterium (как правило, *A. tumefaciens*). Характерная особенность этих штаммов проявляется в том, что они имеют так называемую разоруженную vir-плазмиду. Последняя представляет собой Ti-плазмиду, которая содержит интактную vir-область, но полностью утрачивает Т-область.

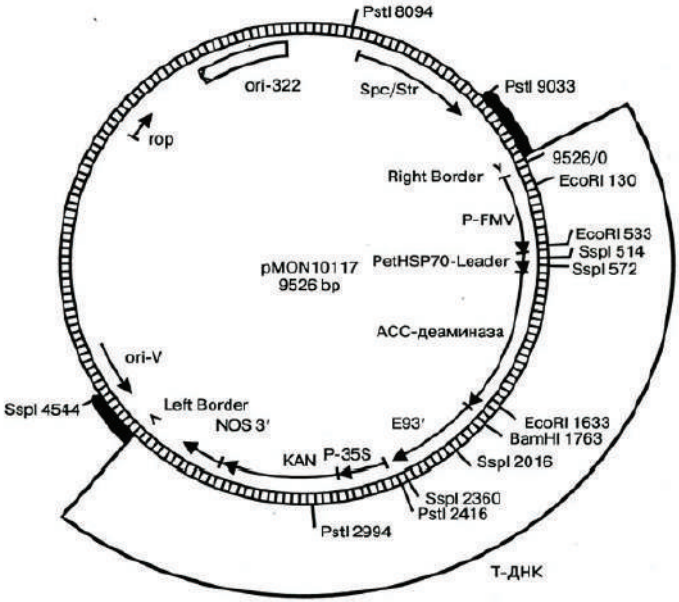


Рис. 8. Пример плазмидного бинарного вектора

Привнесенный в Agrobacterium бинарный вектор способен в ней автономно реплицироваться благодаря наличию ori-сайта от плазмиды с широким кругом хозяев. Вследствие же наличия разоруженной vir-плазмиды он может успешно переноситься и встраиваться в геном клеток растений.

При разработке бинарных векторных систем использована такая важнейшая особенность механизма агробактериальной трансформации, согласно которой vir-область Ti-плазмиды обеспечивает перенос Т-области из бактерий в растения, но сама при этом в растения не попадает. Кроме того, в процессе переноса Т-области существенным является присутствие очень небольшой части Т-ДНК: по 25 п.н. ее левого и правого краев. Остальная часть Т-ДНК, в том числе все онкогены и гены, кодирующие образование опинов, для процесса переноса Т-ДНК несущественны. Они выполняют в нем пассивную роль и могут быть заменены любыми другими генами.

Для введения сконструированных Ti-плазмид в растительную клетку может быть использовано несколько методов. Наиболее простой из них – природный способ, т.е. инокуляция сконструированных штаммов в поврежденные (пораненные) области растения.

Другой метод состоит в трансформации протопластов путем их совместного культивирования (кокультивирования) с агробактериями. Методика кокультивации может рассматриваться как индукция опухолей в искусственных условиях: вирулентные агробактерии временно совместно культивируются с протопластами.

Методы физического переноса чужеродной ДНК в клетки эукариот. Чужеродная ДНК может спонтанно проникать в клетки эукариот благодаря наличию на наружных клеточных мембранах белков, специфически связывающих ДНК. Путем эндоцитоза (впячивания внутрь клеточной мембраны) чужеродная ДНК попадает в цитоплазму в составе эндосом, где обычно быстро разрушается лизосомальными ферментами. Только небольшая часть экзогенной ДНК выходит из эндосом, попадает в ядро и если не разрушается эндогенными нуклеазами, то может быть интегрирована в ДНК клетки. Такое, однако, случается достаточно редко.

Эффективная доставка чужеродной ДНК непосредственно в ядро клетки-мишени может быть достигнута путем микроинъекции (метода, применяемого сегодня почти исключительно для создания трансгенных животных путем введения экзогенной ДНК в пронуклеус оплодотворенной яйцеклетки, при помощи электропорации (кратковременного воздействия сильным электрическим полем), путем перфорации клеточных мембран золотыми или вольфрамовыми микрочастицами, конъюгированными с чужеродными ДНК и разогнанными до высокой скорости (метод бомбардировки). Эти методы доставки применимы, главным образом, для клеток, культивируемых in vitro. Исключение составляет лишь метод бомбардировки, который при наличии специального генного «ружья» с успехом применяется и in vivo.

Для повышения эффективности переноса обычно используют системы доставки (соединения или группы соединений), взаимодействующие с ДНК с образованием компактных структур, облегчающих проникновение ДНК в клетки и защищающих ее от действия нуклеаз. Самой простой системой доставки является система кальций-фосфатиой копреципитации, широко применяемая для трансфекции клеток in vitro. Более сложный и многообещающий вариант трансфекции представляет собой рецептор-опосредованный транспорт, предусматривающий создание достаточно сложной, обычно трехкомпонентной, конструкции: ДНК-поликатион + лиганд + вирус.

Агробактериальная трансформация – наиболее эффективная технология введения трансгенов в клетки растений, применяемая сегодня. Однако она имеет ограничения, связанные с кругом хозяев агробактерий. Специально отобранные штаммы Agrobacterium с широким кругом хозяев могут инфицировать приблизительно половину двудольных видов растений, а также некоторые из голосеменных. Многие двудольные и голосеменные и практически все однодольные растения устойчивы к агробактериальной инфекции и никогда не образуют опухолей. Тем не менее совершенствование этого метода продолжается. В результате разработаны протоколы для агробактериальной трансформации риса. Выделены вступающие в симбиоз с растениями микроорганизмы, отличные от агробактерий (Rhizobium, Sinirhizobium, Mesorhizobium), которые после соответствующей генетической модификации способны к горизонтальному переносу генов.

Для трансформации устойчивых (рекальцитрантных) к агробактериям растений разработаны методы прямого физического переноса ДНК в клетку, многие из которых перенесены из практики работы с клетками бактерий или животных. Эти методы достаточно разнообразны: они включают бомбардировку микрочастицами или баллистический метод (иначе – баллистическая трансфекция; биолистика); электропорацию; обработку полиэтиленгликолем; перенос ДНК в составе липосом и др.

Баллистический и агролистический методы переноса ДНК. Наиболее продуктивным и чаще всего используемым является метод бомбардировки микрочастицами, обработанными препаратом ДНК, предназначенной для переноса в растение. При достаточной скорости эти частицы могут непосредственно проникать в ядро, что значительно повышает эффективность трансформации. Этим же методом можно трансформировать и другие ДНК-содержащие клеточные органеллы – хлоропласты и митохондрии.

Баллистическая трансфекция основана на обстреле органов и тканей микрочастицами тяжелых металлов (золото, вольфрам), покрытых плазмидной ДНК. Микрочастицы проходят через клеточные слои и переносят генетическую конструкцию непосредственно в ядра клеток. «Генная пушка» (gene gun) по устройству сходна со стрелковым оружием. Глубина проникновения микрочастиц, как правило, невелика – до 1 мм. На рис. 9 представлена принципиальная схема баллистического метода

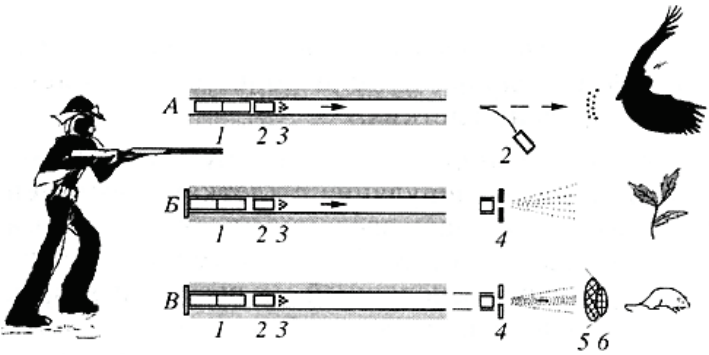


Рис. 9. Принцип конструкции ускорителя микрочастиц (генной пушки)
А - дробовое ружье: *1 - пороховой заряд, 2 - войлочный пыж, 3 - дробь;*
Б - пороховой ускоритель Клейна и Стэнфорда: *1 - пороховой заряд, 2 - макроноситель (аналог пыжа), 3 - микрочастицы вольфрама, несущие вводимую ДНК, 4 - стопорная диафрагма для остановки микрочастиц:*
В - ускоритель Колесникова: *1 - заряд гремучей ртути, 2 - макроноситель, 3 - смесь микрочастиц золота и вольфрама, покрытых вводимой ДНК, 4 - стопорная диафрагма для остановки микрочастиц, 5,6 - сетчатые диафрагмы для удаления частей разрушенного макроносителя и дезинтеграции конгломерата микрочастиц соответственно*

В последнее время разработан и успешно применяется также комбинированный метод трансформации, названный агролистическим. При этом чужеродная ДНК вводится в ткани каким-либо физическим методом, например, баллистическим. Вводимая ДНК включает как Т-ДНК вектор с целевым и маркерным геном, так и агробактериальные гены вирулентности, поставленные под эукариотический промотор. Временная экспрессия генов вирулентности в растительной клетке приводит к синтезу белков, которые правильно вырезают Т-ДНК из плазмиды и встраивают ее в геном растения-хозяина, как и при обычной агробактериальной трансформации.

После проведения тем или иным способом трансформации растительной ткани, ее помещают in vitro на специальную среду с фитогормонами, способствующую размножению клеток. Среда обычно содержит селективный агент, в отношении которого трансгенные, но не контрольные, клетки приобретают устойчивость. Регенерация чаще всего проходит через стадию каллуса, после чего при правильном подборе сред начинается органогенез (побегообразование). Сформированные побеги переносят на среду укоренения, часто также содержащую селективный агент для более строгого отбора трансгенных особей.

3. Современные направления в технологии создания генетически модифицированных растений

Первые трансгенные растения были получены с помощью технологии рекомбинантной ДНК в 1982 г. учеными из Института растение-

водства в Кёльне (ФРГ) и компании Monsanto (США), а история их промышленного использования насчитывает более 15 лет.

Генетическая конструкция, вводимая в растительную клетку обычно включает: белок-кодирующую структурную последовательность (целевой ген или белок), регуляторную часть, состоящую из сигнальных элементов трансляции и транскрипции, а также гены селективных маркеров (селективные гены), как это изображено на рис. 10

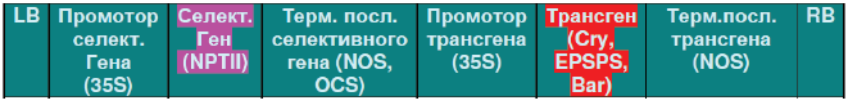


Рис. 10. Типичная трансгенная вставка

Наиболее важными из регуляторных последовательностей являются проксимальный участок промотора, связывающий РНК-полимеразу; участок, кодирующий 5'-конец мРНК, необходимый для связывания с рибосомой и инициации трансляции, и эукариотический сигнал полиаденилирования на 3'- конце мРНК. Среди эукариотических организмов эти конститутивные сигнальные элементы оказались высококонсервативными и достаточно универсальными, так что растительные клетки в основном правильно экспрессируют чужеродные гены не только растений других видов, но и млекопитающих, дрожжей и других эукариот.

Однако для генов бактериального происхождения необходима замена их конститутивных сигнальных элементов на соответствующие эукариотические. Для лучшей экспрессии гена на уровне трансляции мРНК желательно также приблизить набор кодонов целевого гена к типичному для растения. Обычно для этого посредством направленных точечных мутаций заменяют «редкие» кодоны на синонимичные «частые», что не сказывается на первичной структуре белка. В результате экспрессия гена может быть усилена до 300 раз.

Минимальный промотор, связывающий РНК-полимеразу, как правило, недостаточен для обеспечения заметного, а тем более тканеспецифичного уровня транскрипции. Для усиления экспрессии встроенного гена и придания ей заданных характеристик используют полноразмерные промоторы, включающие энхансеры (усилители) и (или) фактор-зависимые цис-элементы (ДНК растения-хозяина). Это значит, что подготовленный для трансформации ген, как правило, является химерным, т.е. включает фрагменты ДНК одного вида, соединенные с фрагментами ДНК другого вида.

Набор известных к настоящему времени промоторов достаточно разнообразен и постоянно пополняется. Конститутивные промоторы применяются для наработки существенного количества продукта гена во всем растении. Для двудольных растений такими эффективными промоторами являются, например, 35S-промотор вируса мозаичности цветной капусты (CaMV) и nos-терминатор гена нопалин-синтазы агро-

бактерий; для однодольных – промоторы гена алкогольдегидрогеназы кукурузы (Adh) и гена актина 1 риса (Act).

Помимо конститутивных, известно большое количество специфических промоторов, которые активны лишь в отдельных органах, тканях или клетках (например, корнях, меристемах), либо на отдельных стадиях онтогенеза растения. Примером может служить промотор гена пататина картофеля, работающий практически только в клубнях. Интенсивно изучаются и используются индуцибельные промоторы, которые активируются лишь при определенных условиях: температуры, освещения промоторы, индуцируемые низкомолекулярными химическими эффекторами, часто не свойственными, концентрации фитогормонов и т.д.

Многие из таких промоторов достаточно универсальны, например, некоторые промоторы генов теплового шока. В частности, промотор гена hsp70 из дрозофилы равно эффективен в клетках растений. Особый интерес представляют растениям. В зависимости от типа промотора, индукторами могут служить тетрациклин, дексаметазон, бензотиадиазол, этанол, ионы меди и другие соединения. Эти промоторы очень важны для фундаментальных исследований с помощью трансгенных растений физиологии и биохимии растительной клетки, позволяя четко дифференцировать первичные и вторичные эффекты изучаемого гена и тем самым прояснять его истинную биологическую функцию. Они перспективны и для биотехнологии, так как позволяют вызвать экспрессию гена в заданный период, когда она уже либо не препятствует нормальному росту и развитию растения, либо не вызывает иных отрицательных последствий.

Представление о способах создания генетически модифицированных растений дает рис. 11, на котором приведена принципиальная схема получения трансгенного табака, устойчивого к вирусам. В ка-

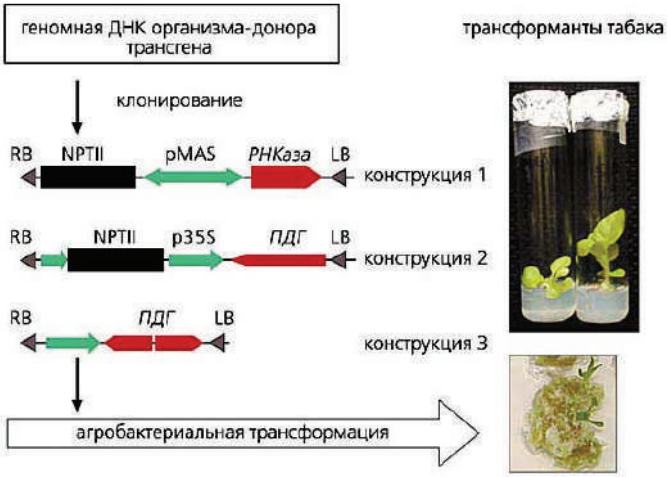


Рис. 11. Схема получение генетически модифицированных вирусоустойчивых растений табака

честве основных элементов генетической конструкции здесь использованы гены неспецифической нуклеазы из генома бактерии *Serratia marcescens* и панкреатической рибонуклеазы быка, которые обладают противовирусной активностью.

На первом этапе осуществляется выделение трансгена из геномной ДНК (или кДНК) организма-донора. Здесь приведены два основных варианта генетических конструкций: содержащих белок-кодирующие трансгены (конструкция 1) или участки генов, расположенные в антисмысловой ориентации (конструкции 2 и 3). Использованы следующие обозначения: RB, LB – повторы, маркирующие участок ДНК в векторе, который переносится в геном растений ферментами агробактерии; NPTII – ген, экспрессия которого позволяет растениям-трансформантам развиваться на питательной среде в присутствии антибиотика канамицина; РНКаза – ген панкреатической рибонуклеазы быка; ПДГ – участки гена пролиндегидрогеназы арабидопсиса, размещенные в антисмысловой ориентации; pMAS, p35S – промоторы, управляющие экспрессией трансгенов. В конструкции использован промотор гена маннопинсинтазы (pMAS), обеспечивающий средний уровень экспрессии трансгена в листьях и корнях растения и высокий – в клетках, окружающих поврежденные ткани.

До последнего времени большинство выращиваемых в сельском хозяйстве трансгенных сортов растений содержали либо ген устойчивости к гербицидам (73%), либо ген устойчивости к вредителям (18%) и лишь немногие (9%) – другие гены. Сегодня создаются генетически модифицированные растения, которые будут устойчивы не только к биотическим факторам (фитопатогенным вирусам, бактериям, грибам, нематодам и насекомым), но и к факторам абиотическим (засухе, заморозкам, засолению). Эти генетически модифицированные растения будут также обладать пониженной аллергенностью и повышенной пищевой ценностью и усвояемостью. Так, уже созданы салат с увеличенным содержанием железа; обогащенная лизином кукуруза; рис, содержащий большее количество триптофана, а также «золотой рис» (рис. 12.), названный так из-за ярко-желтой окраски эндосперма, в составе которого много β-каротина.

Рис. 12. «Золотой» рис

Ведутся также исследования по созданию растений-биореакторов, синтезирующих неспецифичные для растений продукты метаболизма, которые можно будет использовать для производства различных промышленных продуктов и лекарственных веществ. В будущем растения могут стать даже источниками новых видов топлива и заменить нефть, запасы которой неуклонно истощаются. Аргументы сторонников расширения практического применения технологии создания трансгенных растений сводятся к следующему. В ближайшие несколько десятилетий продукцию растениеводства необходимо увеличить в 2–3 раза. Решение этой проблемы классическими селекционно-генетическими и агротехническими методами невозможно, по их мнению, так как генетический потенциал растений исчерпан для классической селекции. Кроме того, существует настоятельная необходимость быстрого введения в практику новых сортов высокопродуктивных устойчивых растений. Именно генетическая инженерия растений способна решить все эти задачи, причем путем, принципиально сходным с классическим селекционно-генетическим процессом. Перечислим возможности генной инженерии растений:

• улучшение качества запасных белков, в частности их аминокислотного состава;
• производство белков животного происхождения;
• повышение содержания жиров, изменение их спектра;
• увеличение содержания полисахаридов;
• создание гербицидоустойчивых растений;
• повышение устойчивости растений к стрессовым условиям;
• повышение эффективности биологической азотфиксации;
• повышение эффективности фотосинтеза;
• получение растений с новыми свойствами

Согласно данным ISAAA с 1996 по 2016 год выращивание трансгенных растений дало: 1) прирост доходов от реализации сельхозпродукции в размере 150 миллиардов долларов США; 2) экономию 583,5 миллионов килограммов пестицидов, что существенно снизило нежелательное воздействие на окружающую среду; 3) только в 2011 году выброс 104 CO_2 в атмосферу из-за меньшего использования с/х техники был уменьшен на 23,1 миллиарда килограммов, что эквивалентно удалению с дорог 12 миллиона автомобилей; 4) было спасено от распашки 108,7 миллионов гектаров территорий, что имеет огромное значение в плане сохранения биоразнообразия и биосферы в целом; 5) более 18 миллионов фермеров и членов их семей (вместе около 60 миллионов человек) повысили благосостояние в целом по миру, причем в странах Азии и Африки за счет выращивания трансгенного хлопка около 16,5 миллионов фермеров сделали свою деятельность доходной.

Однако внесение в растения чужеродной ДНК из микроорганизмов или животных продолжает вызывать возражения у противников генетической инженерии. Так, например, все больше раздается голосов об опасности присутствия в геноме ГМО так называемого «технологиче-

ского мусора», в частности остатков векторов, с помощью которых был осуществлен перенос трансгена, а также маркерных генов, в качестве которых обычно выступают гены устойчивости к антибиотикам.

Поэтому сегодня значительное внимание при конструировании трансгенных растений уделяется разработке новых технологий, позволяющих увеличить их биобезопасность. На рис. 13 представлена схема отбора трансформантов, при которой отпадает нужда в наличии гена антибиотикоустойчивости и отбора трансформантов на селективных средах. В традиционном варианте растения-регенеранты высаживаются на селективную среду с антибиотиком. Вырасти могут только трансформанты, содержащие маркерный ген устойчивости к этому антибиотику. Некоторые из них могут содержать и целевой ген, что определяется наличием его экспрессии. Далее определяется степень экспрессии целевого гена и проводится детекция целевого продукта. В альтернативном варианте растения выращивают на неселективной среде, а отбор ведется только на основе детекции наличия целевого продукта. Присутствие продукта означает, что целевой ген экспрессируется и включился в геном.

Уже не является фантастикой еще один вариант создания генетически модифицированных растений, где генетическая конструкция не содержит трансгенов, кодирующих белок. В этом случае используется феномен РНК-интерференции, позволяющий отключить или снизить

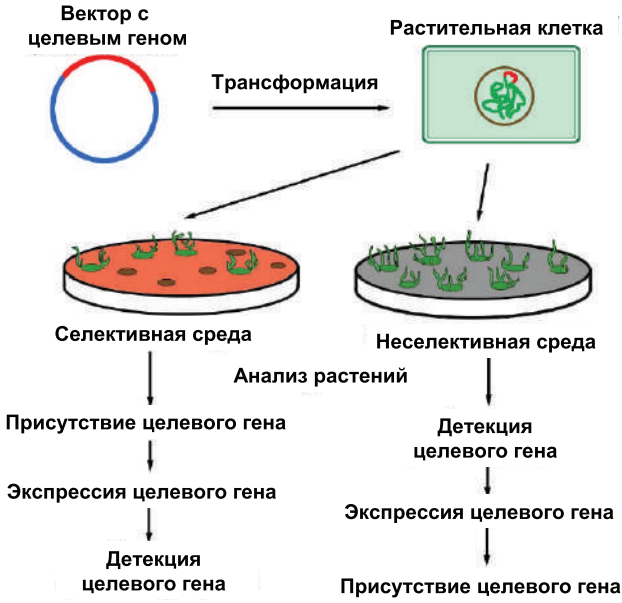


Рис. 13. Способы отбора трансформантов

активность одного из собственных генов растения. Принципиальная схема выключения гена-мишени выглядит так: выделяется необходимый фрагмент ДНК из генома и помещается в генетическую конструкцию в перевернутом (антисмысловом) положении. Такая конструкция синтезирует РНК, которая ничего не кодирует, но связывается с мРНК гена-мишени и по механизму РНК-интерференции запускает целый каскад событий: остановку трансляции, разрушение мРНК и резкое снижение или даже полное прекращение экспрессии гена-мишени. Заметим, что такой же эффект возможен при добавлении избыточной копии собственной ДНК организма. За него также отвечает явление РНК-интерференции.

4. Ограничения и риски генетической инженерии

При оценке возможностей генетической инженерии важно учитывать те ограничения и опасности, которые вытекают из законов генетической и экологической изменчивости живых организмов. Известно, что генетическая сложность цветковых растений на много порядков выше, чем у бактерий. При этом изолирующие барьеры, обуславливающие межвидовую и половую несовместимость у высших растений весьма многочисленны. Поскольку многие закономерности генетической инженерии неизвестны, и мы не знаем, сколько времени потребуется на их познание, было бы весьма опасным пренебрегать традиционными методами селекции, которые сегодня кормят население земли.

Высоко оценивая потенциальную роль генетической инженерии в селекции растений, особенно в плане преодоления барьеров несовместимости любого уровня, следует, однако, учитывать ограничения и риски, обусловленные спецификой и сложностью генно-инженерных работ.

Причины биологических рисков ГМО:

1. Полигенность признаков. *Большинство хозяйственно ценных и адаптивно значимых признаков являются полигенными по своей природе, так как их проявление контролируется множеством ядерных и цитоплазматических генов. Из более 50 тыс. генов, контролирующих признаки высших растений, лишь у некоторых видов изучены 200-300 генов (находящихся в хромосомах), большинство же адаптивно и хозяйственно ценных признаков генетически не идентифицированы (не определены гены, которые за них отвечают) и биохимически не охарактеризованы. Методы генетической инженерии разработаны пока только для небольшого числа культур.*

2. Непредсказуемость (случайность) встраивания чужеродного фрагмента ДНК (например, ДНК бактерии, человека или рыбы) в геном организма-реципиента (растения). *Это один из основных недостатков генно-инженерной технологии. В настоящее время учёные не умеют «вставлять» чужеродный фрагмент ДНК в конкретное место генома организма-реципиента. Ситуация усугубляется ещё и тем, что механизмы функционирования генетического аппарата высших организмов изучены пока недостаточно хорошо.*

3. Плейотропный эффект встроенного гена. *Работа встроенного чужеродного гена, так же как и работа окружающих его «хозяйских» генов, во многом зависит от того, в какое место хромосомы попадёт чужеродный фрагмент ДНК. Следствием данной ситуации может быть непрогнозируемое изменение работы генетического аппарата клетки, возможные нарушения обмена веществ в клетке и синтез токсичных или аллергенных соединений, ранее не свойственных клетке.*

4. Нарушение стабильности генома и изменение его функционирования вследствие самого факта переноса чужеродной информации в виде фрагмента ДНК. *Согласно данным бельгийских учёных, даже самые распространенные коммерческие сорта растений (например, трансгенная соя фирмы Monsanto, устойчивая к гербициду раундапу) не сохраняет генетической стабильности после трансформации исходного растения и, следовательно, являются потенциально опасными для здоровья человека и окружающей среды.*

5. Нарушение стабильности встроенного в геном чужеродного фрагмента ДНК. *Клетки высших организмов имеют сложные и эффективные системы распознавания и подавления функционирования чужеродной ДНК.*

6. Наличие во встраиваемом фрагменте ДНК «технологического» мусора, *например, генов устойчивости к антибиотикам, которые также могут привести к нежелательным последствиям.*

7. Аллергические и токсические эффекты чужеродного белка.

Все эти, а также ряд других ограничений современных методов получения ГМО, являются источниками серьёзных реальных и потенциальных биологических и экологических рисков, пренебрегать которыми просто невозможно. Отсюда следует, что широкомасштабное (коммерческое) использование ГМО и полученных из них продуктов питания допустимо лишь тогда, когда ***производитель*** предоставит исчерпывающие доказательства их полной (как реальной, так и потенциальной) биологической безопасности.

ЛЕКЦИЯ 3

СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГМО И ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ РИСКИ, СВЯЗАННЫЕ С ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ

ВОПРОСЫ

1. ГМО и сельское хозяйство. Возможности генетической инженерии животных

2. ГМО и медицина

3. ГМО и риски для здоровья человека

4. ГМО и экологические риски

5. ГМО и социально-экономические риски

1. ГМО и сельское хозяйство. Возможности генетической инженерии животных

В настоящее время, на полях мировых сельхозугодий культивируются десятки тысяч сортов культурных растений относящихся к более, чем пяти тысячам видам. Всё это сортовое разнообразие получено благодаря использованию методов традиционной селекции, основанной на гибридизации (скрещивании) различных сортов или селекционных линий одного вида, обладающих какими либо ценными признаками (высокая продуктивность; устойчивость к болезням и вредителям; улучшенные потребительские качества и т.д.). Чем выше генетическая изменчивость внутри вида (широкий выбор селекционно-ценных генов), тем, как правило, выше эффективность селекции. Однако есть виды сельскохозяйственных растений, у которых естественная внутривидовая изменчивость невысока (например, свекла). Многие селекционно-ценные гены могут вообще отсутствовать у культурных видов растений (например, гены устойчивости к некоторым болезням, вредителям). Поэтому в селекции получили широкое применение методы, направленные на расширение генетического разнообразия вида с помощью экспериментального мутагенеза (искусственное получение мутаций в результате воздействия физических или химических факторов) или отдалённой гибридизаций (скрещивания между представителями разных видов, родов или более отдалённых таксонов). Однако широкое применение этих методов ограничено негативными эффектами индуцированных мутаций и репродуктивными барьерами, препятствующими свободному скрещиванию между представителями разных таксонов.

Генетическая инженерия даёт возможность в значительной мере обойти все естественные межвидовые репродуктивные и рекомбинативные (рекомбинация – процесс, приводящий к обмену генами между хромосомами) барьеры. Она позволяет манипулировать (комбинировать, переносить от одного вида к другому) любыми генами, принадлежащими совершенно не родственным организмам или даже синтезированным искусственно.

Начиная с 80-х годов прошлого столетия, появились и стали выращиваться в коммерческих целях жизнеспособные в природных условиях трансгенные организмы. Полученные генно-инженерными методами формы (сельскохозяйственные сорта растений и породы животных, штаммы микроорганизмов и т.д.) обладают целым рядом новых качеств (устойчивость к пестицидам, болезням и вредителям; длительность хранения и пищевая ценность) которые невозможно было бы передать методами традиционной селекции.

Первые масштабные посевы ГМ-культур были произведены в 1996 году в США. На сегодняшний день число трансгенных сортов исчисляется сотнями и охватывает около 50 культивируемых видов растений, но лишь четыре культуры – соя, кукуруза, хлопчатник и рапс – составляют фактически 100% мировых посевов всех ГМ – культур. При этом, в 2015 году общая площадь полей занятых ГМ – культурами составляет порядка 179 млн. га.

Основная цель коммерческого использования ГМ-культур это рост доходов сельхозпроизводителей за счёт снижения издержек производства и увеличения продуктивности растений. Сторонники ГМ – технологий, в сельском хозяйстве, считают, что кроме финансовых выгод выращивание трансгенных сортов растений несёт ощутимые социальные и экологические выгоды, в том числе:

- увеличение сельскохозяйственной производительности и, таким образом, вклад в обеспечение глобальной продовольственной безопасности и сокращение бедности в развивающихся странах;
- сохранение биологического разнообразия, так как ГМ-технологии из-за высокой производительности требуют меньших сельскохозяйственных площадей;
- уменьшение выбросов углекислого газа в атмосферу за счёт сокращения эксплуатации сельскохозяйственной техники используемой для вспашки и обработки полей пестицидами;
- снижение химической загрязнённости воды и почвы вследствие использования менее вредных для окружающей среды гербицидов;
- предотвращение эрозии почвы, поскольку использование ГМ-культур, устойчивых к гербицидам, позволяет перейти на щадящий (беспахотный) метод обработки почвы;
- увеличение биоразнообразия, за счёт использования сортов с избирательной устойчивостью к насекомым вредителям.

В настоящее время, сложились несколько основных направлений создания и использования ГМ-культур, каждое из которых имеет как свои потенциальные преимущества, так и риски связанные с их использованием:

- Устойчивость (толерантность) к гербицидам. Устойчивость к гербицидам достигается за счёт переноса культурным сортам мутантного бактериального гена (почвенной бактерии *Agrobacterium tumefaciens* CP4) отвечающего за синтез фермента устойчивого к действию гербицида. Устойчивость трансгенного сорта к определённому гербициду (глифосату и глюфозинату) позволяет фермерам опрыскивать культуры этим гербицидом, уничтожая сорняки без вреда для самого культурного растения.

Потенциальные преимущества:

• Эффективное управление сорняками и увеличение доходов за счёт снижения трудовых затрат.

• Уменьшение использования гербицидов за счёт сокращения заявок на их поставки.

• Увеличение урожая за счёт увеличения контроля над сорными растениями и повышение доходов.

• Использование новых (менее вредных) видов гербицидов взамен токсичных и химически устойчивых видов.

Потенциальные и реальные риски:

• Произойдёт передача гена устойчивости к гербициду родственным диким видам, что позволит превратиться им в гербицидоустойчивые «суперсорняки». Это зависит от близости видов, с которыми трансгенные растения могут успешно скреститься. Например, в Индии устойчивость к гербицидам ГМ-рапса передалась дикой горчице, которая в результате стала важным сорняком рапса.

• ГМ-культуры сами могут стать «суперсорняками» и распространяться на другие территории, вытесняя другие культуры или скрещиваясь с ними.

• Увеличение использования специфических гербицидов на ГМ-полях, может привести к появлению гербицидоустойчивых форм сорных растений. Уже известно более 40 видов сорных растений, которые очень быстро приобрели устойчивость к производным сульфонилмочевины (вид гербицида). Зарегистрирован ряд видов злаковых и бобовых сорняков устойчивых к глифосату. Например, из посевов ГМ-сои в США, через три года после их обработки глифосатом, была выделена устойчивая к гербициду популяция злостного сорняка мелколепестника канадского (*Coniza canadensis*).

• Широкое распространение гербицидоустойчивых сортов увеличивает масштабы применения гербицидов и вытесняет альтернативные (органические) методы борьбы с сорной растительностью (например, многовидовые «поликультурные» севообороты, разные способы обработки почвы, безгербицидные технологии и т.д.).

• Гранича с посевами фермеров, ведущих экологическое (органическое) производство и переработку, ГМ-культуры смогут опылять их и привести к генетическому загрязнению чужеродными генами.

• Снижение сортового разнообразия. Особо опасно выращивание ГМ-культур в центрах происхождения сельскохозяйственных культур. Например, если выращивать ГМО рис в Китае, где зародилась эта культура, то из-за перекрестного опыления могут исчезнуть дикие сорта риса.

• Устойчивость к насекомым-вредителям. Устойчивость ГМО-культур к насекомым-вредителям достигается внесением гена, вызывающего выработку инсектицидного токсина (такого как токсин Bt, из бактерии *Bacillus thuringiensis*). Bt-токсин представляет собой протеин (белок) в высокой избирательностью действия. Это значит, что Bt-протеин, выделенный из опредёлённого штамма бактерии, способен

поражать определённый вид насекомого-вредителя и не действует на других насекомых. Наибольших успехов в создании Bt-сортов удалось достичь на картофеле, кукурузе и хлопке.

Сорта кукурузы, сои, рапса, хлопчатника, созданные на основе введения генов энтомотоксинов, по занимаемым площадям находятся в настоящее время на втором месте после гербицидоустойчивых трансгенных растений. При этом следует учитывать, что значительная часть современных генетически модифицированных сортов этих культур являются одновременно и гербицидоустойчивыми и энтомоустойчивыми. Количество модифицируемых по такой методике видов растений постоянно растет, в их число включаются и виды культивируемых древесных растений, в частности тополь, орех, ель и другие.

Одним из недостатков метода создания энтомоустойчивых растений на базе токсинов *Bacillus thuringiensis* считается принципиальная возможность появления устойчивых к данному токсину вредителей под воздействием давления отбора. Возможный путь преодоления этого недостатка – это создание генетических конструкций, в которых экспрессия гена энтомотоксина осуществляется с регулируемых промоторов, что позволяет вызывать образование токсина только на определенном этапе вегетации.

На модельных растениях табака были опробованы конструкции с промоторами генов PR-белков (pathogenesis-related proteins), они появляются в растении только при контакте с патогенами, но их экспрессию можно вызвать опрыскиванием нетоксичными химикатами, например, салициловой кислотой. Было показано, что одноразовое применение такого препарата приводит к накоплению в клетках трансгенного растения достаточного для защиты от вредителя количества токсина, а затем он постепенно разрушается, тем самым не создавая условий для селективного давления.

Потенциальные преимущества:

- Уменьшение объёма химического инсектицида, используемого во время посева.
- Повышение урожайности за счёт уменьшения ущерба, приносимого вредителями и рост доходов фермеров.
- Сокращение основного ущерба «до» и «после» снятия урожая в результате использования инсектицидов, применяемых для предотвращения проникновения болезнетворных организмов в культуру.

Потенциальные и реальные риски:

- Произойдёт передача гена устойчивости к насекомым-вредителям родственным диким видам, что позволит превратиться им в инсектицидоустойчивые «суперсорняки». Это зависит от близости видов, с которыми трансгенные растения могут успешно скреститься.
- Инсектицидные культуры будут уничтожать нецелевые (полезные) виды насекомых. Bt-токсин, выделяемый трансгенными формами картофеля поражает не только колорадского жука но и 150 других видов насекомых, не поедающих картофель.

• Переход традиционных вредителей на новые культуры. Если какие, то сорта растений с помощью ГМ-технологий станут непривлекательными для вредителей (например, картофель с помощью Bt-токсина), то это может подтолкнуть вредителей к освоению новых, раннее массово не поражаемых таксономически близких видов растений (других паслёновых – томатов, перца, баклажанов).

• Нарушение естественного контроля вспышек численности вредителей. В природе у каждого вида есть естественные враги и паразиты, не позволяющие ему виду чрезмерно размножаться. Воздействие токсинов ГМ растений на хищных и паразитических насекомых может привести к серьезным нарушениям в экосистемах, в том числе к неконтролируемым вспышкам численности одних видов и вымиранию других. Известны случаи нарушения процессов роста и жизнедеятельности представителей одного вида божьих коровок, основной пищей которых являлись личинки, выращенные на трансгенном картофеле.

• У насекомых-вредителей начнёт развиваться устойчивость к инсектицидам, что со временем станет причиной снижения урожая и использования новых, более мощных, инсектицидов. Так, у фитонематоды *Caenorhabditis elegans* было обнаружено 10 мутантов, устойчивых к Bt-токсину. Исследования в США и Франции показали, что у мутантных устойчивых к Cry1Ab-токсину особей кукурузного мотылька (*Ostrinia nubilalis*), при постоянном содержании токсина в пище устойчивость к Bt-токсину увеличилась в 32 раза.

• Гранича с посевами фермеров, ведущих экологическое (органическое) производство и переработку, ГМ-культуры смогут опылять их и привести к генетическому загрязнению чужеродными генами.

• Устойчивость к вирусным, грибковым и бактериальным болезням

Одним из подходов в создании вирусоустойчивости является введение в растительный геном вирусных генов, кодирующих белки капсида. Методология данного подхода базируется на явлении подавления, либо существенного снижения репродукции вируса при накоплении в растительных клетках белков вирусных оболочек. Экспрессия данных вирусных генов, поставленных под сильный промотор, может давать такое количество белка, которое будет лимитировать репродукцию вируса в клетках растений. Недостатком данного метода является защита трансгенной формы только от одного конкретного вируса, защита от других типов вирусов требует дополнительного введения их генов.

Современные генно-инженерные технологии создания устойчивых к вирусам сортов растений базируются на использовании метода перекрестной защиты (cross protection). Он основан на явлении повышенной устойчивости растений к агрессивным формам какого-либо вируса при условии, что они были заражены менее вредоносной формой того же самого вида вирусов.

В 1986 году П. Абель впервые получил устойчивую к мозаичному тобамовирусу форму табака путём переноса в геном растения гена этого вируса, кодирующего образование белка оболочки (coat protein – CP).

С тех пор это подход был успешно апробирован на многих растениях (свыше 30 видов) и с более чем 50 вирусными СР. Позднее оказалось, что аналогичный, а иногда даже лучший результат достигается при использовании не СР-генов, а генов кодирующих другие белки вирусов – ферментов репликазы, РНКазы.

Из всего разнообразия полученных вирусоустойчивых форм для коммерческого использования допущены сравнительно немногие: папайя, устойчивая к вирусу пятнистости; две формы цуккини, устойчивые к нескольким вирусам и сорта картофеля с комплексной устойчивостью к колорадскому жуку (Bt-ген) и к одному из вирусов картофеля: игрек вирусу (PVY) или вирусу скручивания листьев (PLRV).

Основой метода создания устойчивости к фитопатогенным грибам является повышение уровня экспрессии определенных белков растений, т.к. известно, что ответом растительной клетки на поражение патогенном является либо повышение уровня синтеза определенного белка, либо экспрессия белков, отсутствовавших в растении до контакта с патогенном.

Подходы к созданию сельскохозяйственных растений, устойчивых к бактериальному поражению, могут основываться на введении генов, ответственных за синтез ингибиторов протеаз, что может обеспечить блокировку ферментов пектолитического комплекса некоторых бактерий, либо путем придания растениям способности продуцировать антибактериальные вещества.

Потенциальные преимущества:

- Сокращение потерь урожая, увеличение доходов сельхозпроизводителей.
- Снижение расходов на приобретение и использование пестицидов.

Потенциальные риски:

- Передача генов устойчивости к вирусам, бактериям и грибкам к родственным дикорастущим видам и возникновение устойчивых к болезням «суперсорняков».
- Возникновение новых форм вирусов. Вирусы могут стать более агрессивными и/или менее видоспецифичными (например, вирусы растений могут стать опасными для животных).
- Грибки и бактерии смогут выработать устойчивость против ГМ-культур, что потребует создания новых устойчивых к болезням трансгенных форм растений.
- Гранича с посевами фермеров, ведущих экологическое (органическое) производство и переработку, ГМ-культуры смогут опылять их и привести к генетическому загрязнению чужеродными генами.

Улучшенные качественные характеристики. Создание трансгенных сортов растений с улучшенными качественными характеристиками основано на введении в геном растения дополнительных копий определённых собственных генов, что приводит к существенному ослаблению их активности. В свою очередь, это может привести к изменению каче-

ственных характеристик того продукта, в генетическом контроле биосинтеза которого задействованы данные гены.

Так, качество растительного масла зависит от соотношения в нём различных жирных кислот. Внедрение в геном сои дополнительной копии гена фермента десатуразы привело к тому, что собственный ген десатуразы перестал работать. Это вызвало снижение в соевом масле уровня полиненасыщенных жирных кислот и компенсационному увеличению уровня мононенасыщенной жирной кислоты. Полученное масло превосходит по своим потребительским качествам масло традиционных сортов, в частности, оно более стабильно при нагревании и не загустевает.

Трансгенные сорта картофеля с улучшенным качеством крахмала отличаются от традиционных высоким содержанием амилопектина (ветвистая форма молекулы крахмала) и низким уровнем амилозы (неветвистая форма молекулы крахмала). Это достигается за счёт добавки инвертированной (перевёрнутой) копии гена амилазы.

Трансгенный сорт томата «Flavrsavr» отличается от исходного удлинённым периодом хранения плодов. Гниение спелых плодов связано с действием фермента полигалактуроназы, который разрушает пектин, находящийся в межклеточном пространстве плода. В результате введения в геном растения дополнительной копии гена кодирующего этот фермент удалось резко снизить его концентрацию и увеличить время хранения плодов.

Потенциальные преимущества:

- Появление дешёвых источников жирных кислот для использования их в пищевых и технических целях.
- Получение более полезных по своим питательным свойствам продуктов.
- Снижение затрат на производство крахмала.
- Увеличение сроков хранения и реализации плодов.

Потенциальные риски:

- Неожиданные изменения качества сырья может поставить под угрозу безопасность продуктов питания.
- По комплексу белков, витаминов, незаменимых аминокислот пищевые трансгенные продукты будут такими же, как обычные или даже хуже.

Возможности генетической инженерии животных.

Несмотря на то, что первые трансгенные животные были получены более 20 лет назад, до сих пор на рынке нет ни одного генетически модифицированного животного для использования в хозяйственной деятельности. Это связано определёнными техническими (сложности получения и размножения трансгенных форм), финансовыми и этическими проблемами. Несмотря на это, разработаны различные методы переноса генов в клетки животных и получены трансгенные особи у млекопитающих, низших позвоночных и беспозвоночных животных. Созданы эффективные технологии клонирования, основанные на замене ядер у

оплодотворённых яйцеклеток. Учёные научились не только переносить отдельные гены, но «выключать» их или заменять одни гены на другие.

Основные направления исследований в области генетической инженерии животных:

Выведение пород с повышенной продуктивностью и улучшенными качественными характеристиками.

- Созданы трансгенные формы различных видов рыб, в геном которых добавлен ген, кодирующий гормон роста. Благодаря этому рыбы быстрее растут и эффективнее используют корма.
- Трансгенные свиньи с добавленным гормоном роста более мускулистые и менее жирные.
- Свиньи с добавленным геном фитазы (один из ферментов переваривания пищи) эффективнее усваивают корма за счёт лучшей усвояемости фосфора, что проявляется в усилении их роста.
- Трансгенные свиноматки с добавленным геном β–лактальбумина более эффективно вскармливают поросят.

Улучшение потребительских свойств продуктов, вырабатываемых животными или из животных.

- Выведение пород крупного рогатого скота, в молоке которого снижена концентрация β–лактоглобулина (основной аллерген молока) или изменено соотношение белков (казеинов и сывороточных протеинов).
- Выведение трансгенных пород овец, с улучшенным качеством шерсти.

Улучшение здоровья домашних животных и повышение их устойчивости к болезням.

- Добавление генов, повышающих устойчивость к животным.
- Удаление генов восприимчивости к болезням.
- Замена отдельных генов животного на аналогичные гены, но в большей мере способствующие активному противостоянию болезни.

Использование животных в качестве «биореакторов» для производства фармацевтических препаратов. Создание трансгенных пород крупного рогатого скота и кур, продуцирующих ценные протеины: факторы крови, ферменты, моноклональные антитела, коллаген, фибриноген, шёлк пауков и т.д.

2. ГМО и медицина

В настоящее время наибольший вклад современной биотехнологии наблюдается в области здравоохранения и в ближайшем будущем эта тенденция, по мнению экспертов, сохранится, что обусловлено следующими основными причинами:

1. Возможностями неограниченного получения пептидов и биологически активных веществ в медицинских целях, промышленное производство которых ранее было ограничено по техническим или сырьевым причинам.

2. Растущими потребностями мирового рынка и высоким уровнем прибыли в этом секторе экономики.

Основные направления медицинской биотехнологии:

• Определение нуклеотидной последовательности геномов, включая геном человека.

• Производство генно-инженерных препаратов (ферменты, гормоны, белки-регуляторы, антитела и др.).

• Векторы для генотерапии.

• Ингибиторы работы генов.

• Стволовые клетки.

• Разработка новых вакцин (гепатит, полиомиелит) и иммуностимуляторов.

• Разработка и внедрение новых диагностических систем (биосенсоры, биочипы и др.).

• Генодиагностика наследственных заболеваний и «генетическая паспортизация» населения.

Значительная часть полученных посредством генетической инженерии препаратов составляют инсулин, гормон роста, эритропоэтин (гормон, стимулирующий образование эритроцитов), урокиназа, факторы свёртывания крови. Особое место среди современных генно-инженерных препаратов составляют моноклональные антитела, широко используемые в трансплантологии, лечении многих инфекционных, онкологических и аутоиммунных заболеваний.

Другим важным классом лекарственных соединений являются генно-инженерные ферменты, соответствующие ферментам человека. По сравнению с ферментами, которые получают из природного сырья, оно обладают рядом преимуществ: низкой антигенностью и высокой специфичностью фармакологического действия. Ферменты находят всё более широкое применение как биокатализаторы в фармацевтическом производстве.

Для производства «трансгенных» лекарственных препаратов используются не только генетически модифицированные микроорганизмы, но и культуры животных клеток. Например, биосинтез рекомбинантного фактора VIII (один из факторов свертывания крови) позволяет эффективно решать проблему лечения больных гемофилией. Произ-

водство трансгенного эритропоэтина помогает лечить различные формы анемии.

Будущее производство генно-инженерных фармацевтических препаратов связывают с использованием, в качестве продуцентов, генетически-модифицированных растительных и животных организмов. В настоящее время разрабатываются и проходят лабораторные испытания трансгенные сорта риса и кукурузы, способные вырабатывать биологически активные вещества, в том числе: вакцины, гормоны роста, факторы свёртывания крови, индустриальные энзимы, человеческие антитела, контрацептивные белки, подавляющие иммунитет цитокины и вызывающие аборт препараты. Существуют следующие потенциальные риски неконтролируемого использования такой продукции:

- Угроза переопыления и неконтролируемого распространения таких сортов среди пищевых растений.
- Риск неконтролируемого распространения вакцин в составе пищевых продуктов.
- Распространение вакцин и биоактивных веществ, выделяющихся из гниющих растительных остатков, через почвенные и поверхностные воды.

3. ГМО и риски для здоровья человека

Одной из наиболее обсуждаемых и спорных проблем, связанных с использованием и распространением ГМО, стала проблема потенциального влияния ГМ-продуктов (продукты, полученные из ГМО или содержащие их ингредиенты) на здоровье человека.

Ситуация усугубляется тем, что полный комплекс исследований о влиянии ГМО на организм человека и животных еще не проведен. Оценка пищевых рисков от потребления ГМ-продуктов сейчас возможна только на основании отрывочных данных и разрозненных научных фактов. По мнению экспертов, для того, чтобы идентифицировать все риски связанные с ГМО, нужно изучить последствия выращивания/разведения ГМО во всех условиях, а также воздействие ГМ-продуктов

на все группы живых организмов (животных, растений, грибов и простейших), проследить возможные генетические, тератологические, иммунологические и эндокринологические изменения во всех системах органов, всех этнических и поло-возрастных группах людей. Ни теоретически, ни практически такие исследования провести невозможно.

Именно поэтому, многие ученые опасаются, что использование в пищу ГМ-продуктов увеличивает риск возникновения пищевых аллергий, отравлений, мутаций, способствует образованию опухолей, а также вызывают невосприимчивость к антибиотикам. ГМ-продукты можно разделить на три категории:

• Продукты, содержащие ГМ-ингредиенты (в основном, трансгенная кукуруза и соя). Эти добавки вносятся в пищевые продукты в качестве структурирующих, подслащивающих, красящих веществ, а также в качестве веществ, повышающих содержание белка.

• Продукты переработки трансгенного сырья (например, соевый творог, соевое молоко, чипсы, кукурузные хлопья, томатная паста).

• Трансгенные овощи и фрукты, а в скором будущем, возможно, и животные, непосредственно употребляемые в пищу.

К числу наиболее вероятных потенциальных пищевых рисков связанных с ГМ-продуктами можно отнести:

Непосредственное действие токсических и/или аллергенных трансгенных белков ГМО на человека и других теплокровных.

Аллергия на продукты питания – явление достаточно распространённое и неуклонно растущее среди населения развитых стран. Это связано, в первую очередь, с неблагоприятной экологической обстановкой, изменением традиционного рациона питания и современными технологиями пищевой промышленности, приводящими к повышенному содержанию в пище химических добавок и консервантов.

Как правило, аллергенным или токсическим действием обладают трансгенные белки, обеспечивающие устойчивость растений-реципиентов к поражению различными видами насекомых, грибковыми или бактериальными заболеваниями.

• Так, в ряде публикаций, обсуждается аллергенное действие трансгенных белков хитиназ, способных разрушать хитиновые стенки вредителей (насекомых и грибов). Генами хитиназ модифицированы различные сорта риса, картофеля, пшеницы и других культур. В тоже время хорошо известны так называемые «банановые аллергии», главным аллергеном в которых выступают хитиназы авокадо, бананов, каштана.

• Так, лектин нарцисса, обладающий ярко выраженными свойствами инсектицида, является мутагеном, причём наиболее сильное мутагенное действие показано на культурах лимфоцитов (клеточные элементы крови) человеческих эмбрионов.

• Белки лектины были одними из первых трансгенов при формировании устойчивости к насекомым-вредителям. Связываясь с поверхностью клеток, они приводят к их слипанию и нарушению физиологических функций организма. С этим свойством растительных лектинов

связана 40-летняя история их применения в качестве цитотоксических препаратов при химиотерапии раковых заболеваний. Проводимые работы с трансгенными инсектицидными лектинами бразильского ореха (*Bertholletia excelsa*) были прекращены в связи с их высокой аллергенностью. Хитин-связывающие лектины из проростков пшеницы и фасоли обладают огромным инсектицидным потенциалом, но при этом токсичны для млекопитающих.

• Ряд трансгенных сортов кукурузы, табака и помидоров, устойчивых к насекомым вредителям, вырабатывают лигнин – вещество, препятствующее поражению растений. Он может разлагаться на токсичные и мутагенные фенолы и метанол. Поэтому увеличение содержания лигнина в плодах и листьях растений опасно для человека.

Риски, опосредованные плейотропным действием трансгенных белков на метаболизм растений.

Пищевые риски могут быть связаны как с плейотропным эффектом самих трансгенных белков, так и их способностью влиять на работу других генов. Следствием такого эффекта может быть изменение метаболизма растительной клетки и накопление в ней опасных для здоровья веществ.

• В настоящий момент существуют трансгенные сорта помидоров и картофеля с усиленной продукцией флавоноидов. Принято считать, что повышенное содержание действует на организм человека положительно. Однако в таких сортах было выявлено резкое изменение состава гликоалколоидов. Для оценки пищевых рисков в таких случаях необходимо проведение длительных тестов, которые не всегда проводятся.

• Проводя работы по созданию трансгенных растений с устойчивостью к факторам среды и для увеличения урожайности, используется ключевой фермент аргинин декарбоксилаза. Результатом усиленного синтеза этого фермента у трансгенных табака и риса является повышенное содержание агматина и вторичных продуктов его разложения. Эти вещества способны влиять на деление клеток и способствуют образованию опухолей.

Риски, опосредованные накоплением гербицидов и их метаболитов в устойчивых сортах и видах сельскохозяйственных растений.

Создание трансгенных сортов растений устойчивых к гербицидам с одной стороны даёт большой экономический эффект а с другой способствует увеличению масштабов их использования.

Для оценки безопасности пищевого применения таких сортов, необходимо знать: какова способность таких сортов к накоплению опасных для человека и животных инсектицидов, и не происходит ли накопление других ядовитых метаболитов или аллергенов. Следует отметить, что практически все пестициды токсичны для человека. Например, широко используемый пестицид глифосат является канцерогеном и вызывает образование лимфомы.

• При обработке глифосатом устойчивых к нему сортов сахарной свеклы, растения накапливают токсичные метаболиты глифосата.

• Показана способность репродуктивных тканей хлопчатника, устойчивого к глифосату, к очень высокому накоплению этого гербицида.

Риски, горизонтального переноса трансгенных конструкций.

Горизонтальный перенос генов широко известен среди бактерий. В ходе эволюции обмен генами осуществлялся как между ними, так и между бактериями, вирусами и эукариотами. Многие из генов человека имеют бактериальное или вирусное происхождение. Способность обмениваться фрагментами ДНК бактерии сохраняют до сих пор. И это свойство бактерий имеет прямое отношение к экологическим и пищевым рискам использования ГМО.

Большинство сельскохозяйственных ГМ-культур помимо генов, придающим им желаемые свойства, содержат маркерные гены устойчивости к антибиотикам. Существует опасность того, что эти гены могут быть перенесены в клетки патогенных или симбионтных микроорганизмов обитающих в желудочно-кишечном тракте человека и сельскохозяйственных животных и вызвать у них устойчивость к антибиотикам. В этом случае, использование антибиотика при заболевании приведёт к отбору бактерий устойчивых к нему, и антибиотик начнёт усваиваться микрофлорой непосредственно в кишечнике, не достигая целевых патогенных бактерий, либо не будет оказывать влияния на устойчивые к нему патогенные микроорганизмы. Поскольку основные бактерии-симбионты живут в толстой кишке, то риск включения в обмен веществ касается, прежде всего, плохо всасывающихся антибиотиков, например неомицина и канамицина. Трансгенные конструкции, несущие в качестве маркерного признака устойчивость именно к этим антибиотикам, до последнего времени, широко использовались биотехнологическими компаниями.

4. ГМО и экологические риски

Коммерческое использование ГМО начато совсем недавно. Оценить, как влияют ГМО на окружающую среду за столь короткий промежуток времени очень сложно. Поведение новых генов в открытых экосистемах, их реакция на паразитов, болезни совершенно непредсказуемы. Однако, очень чётко видна взаимосвязь между аграрными и экологическими рисками. Эта взаимосвязь определяется одними и теми же источниками этих потенциальных и реальных рисков. Такими источниками можно считать всё более широкое использование в сельскохозяйственном производстве пестицидов и генетически-модифицированных организмов. К наиболее значимым аграрно-экологическим рискам можно отнести:

• Снижение разнообразия традиционных (аборигенных) сортов растений и пород животных. Распространение ГМО ведёт к вытеснению других сортов и пород, а значит к снижению сортового (породного) биоразнообразия. Это разнообразие является основой устойчивого сельского хозяйства.

• Сокращение видового разнообразия. Производство ГМО приводит к сокращению видового разнообразия растений, животных, грибов и микроорганизмов, обитающих на полях, где они выращиваются и вокруг них. Быстрорастущие виды трансгенных организмов могут вытеснить обычные виды из естественных экосистем.

• Неконтролируемый перенос генов, особенно генов определяющих устойчивость к пестицидам, вредителям и болезням, вследствие переопыления с дикорастущими родственными и предковыми видами. Как следствие снижение биоразнообразия дикорастущих предковых форм культурных растений и формирование «суперсорняков».

• Распространение использования гербицидов широкого спектра (например, глифосината или глифосата), приведёт к обеднению видового состава полезной энтомо- и орнитофауны (насекомые и птицы) и разрушению агробиоценозов.

Истощение и нарушение естественного плодородия почв. ГМ-культуры с генами, ускоряющими рост и развитие растений, в значительно большей степени, чем обычные, истощают почву и нарушают её структуру. В результате подавления токсинами ГМ-растений жизнедеятельности почвенных беспозвоночных, почвенной микрофлоры и микрофауны происходит нарушение естественного плодородия почв.

5. ГМО и социально-экономические риски

Говоря о социально-экономических рисках связанных с производством и распространением ГМО и ГМ-продуктов, чаще всего выделяют два основных аспекта:

• *Экономические аспекты производства и сбыта ГМ-продукции.*

• *Социально-экономические и этические аспекты патентования жизни.*

Коммерческое производство генетически-модифицированной сельскохозяйственной продукции было начато в США в 1996 году. С тех пор, площади занятые под ГМ-культурами постоянно увеличивались, а доходы от их реализации росли.

В выигрыше от такой ситуации оказались компании производящие ГМ-семена, такие как «Монсанто», «Доу кемикалс», «Новартис», «Авентис», «Дю Понт» и др. Многие из этих компаний начинали свою биотехнологическую карьеру как крупнейшие производители химической и фармацевтической продукции. В девяностые годы прошлого века фармакологические и сельскохозяйственные компании слились и объединились в так называемую промышленную консолидацию. В результате появилась «Индустрия жизни», в которой эти огромные транснацио-

нальные компании имеют самые большие объемы продаж пестицидов, медицинских препаратов, семян, продуктов питания.

Выбор не в пользу химии – это стратегический шаг, сделанный для того, чтобы избежать нестабильности. Транснациональные компании представляют этот свой шаг как действия во спасение окружающей среды, говорят о решении проблемы голода в странах третьего мира и увеличивающейся заболеваемости людей, используя красивый термин “наука о жизни”. Однако, по сути, эти компании продолжают производить различную химическую продукцию, включая пестициды, продаваемые в одном «технологическом пакете» с семенами ГМ-культур устойчивых к ним.

В 2004 году фермеры заплатили за ГМ-семена 2,2 млрд. долл. США, что на 1 млрд. долл. Больше, чем в 2001 году. Наиболее широко распространены ГМ-культуры соевых бобов, хлопка и кукурузы. Засеянные ГМ-культурами площади возросли в 2004 году на 20% и занимали 200 млн. акров земли в 17 странах мира.

Однако скоро стало ясно, что ГМ-культуры не принесли обещанных компаниями гигантских прибылей фермерам. Согласно опросам Департамента сельского хозяйства США, до 75% фермеров считают, что основной причиной перехода на ГМ-культуры было ожидание роста урожая и, соответственно, прибылей. При этом выделяют пять факторов успешности ГМ-культур:

1. Увеличение максимального урожая.
2. Увеличение экономически оптимального урожая.
3. Снижение стоимости выращивания культур, при неизменном урожае.
4. Улучшение качества продукции.
5. Меньший риск изменения продажной цены.

Однако, как оказалась, достаточно трудно определить экономическую выгоду ГМ-культур. Семена ГМ-культур стоят дороже обычных семян (плата за новые технологии): в США в 1998 году мешок ГМ-кукурузы стоил 30 дол. США, сои – 5 долл., что на 20-30% дороже семян обычных сортов. В Европе, в среднем, стоимость ГМ-семян оказалась на 35% выше обычных: 57евро/га для ГМ-сои по сравнению с 42 евро/га для обычной сои (2000 г.).

Оказалось, что агротехнически более удобное (простое) выращивание ГМ-культур, сложнее оценить в трудозатратах, так как фермерам требуются новые навыки для их выращивания. При этом прибыль при сбыте ГМ-продукции зависит от урожайности и рыночных цен. Урожайность, в свою очередь, также зависит от многих фактор (табл.1).

Как видно из приведённых в табл. 2 данных средняя урожайность ГМ-сои заметно ниже.

В отношении стоимости гербицидов следует отметить, что их применение в США началось 60-х годах прошлого века и достигло максимума в 1994 году, когда примерно 72% площадей занятых соей обрабатывалось гербицидами. По данным, представленным в докладе

Таблица 1. **Различия в урожайности обычной и ГМ-сои в США (Benbrook, 1998)**

Штаты	Урожайность (т/га)		Различие
	Обычная соя	ГМ-соя	
Иллинойс	3,9	4,04	+3,5
Айова	4,10	3,83	-7
Мичиган	4,44	4,30	-3
Миннесота	4,44	4,10	-8
Небраска	3,90	3,43	-12
Огайо	4,04	3,90	-3
Южная Дакота	3,30	2,96	-10
Висконсин	4,77	4,64	-3

Таблица 2. **Сравнение доходности производства обычной и ГМ-сои (European Union, 2000)**

Сорт	Урожайность (т/га)	Стоимость семян (евро/га)	Полная стоимость (без земли и труда, евро/га)	Доходность земли/ труда (евро/га)
ГМ-соя	3,295	57	254	320
Обычная	3,430	42	274	322

ЕС о ситуации с выращиванием сои в США, примерно 27% фермеров высказывались за ГМ-сою, из-за меньших расходов на гербициды (на 30-35 евро/га).

Примерно такие же результаты были получены при оценке расходов и прибыли для кукурузы и рапса.

В последние десятилетия возрос интерес к коммерческому выращиванию фармацевтических ГМ-культур. К наиболее распространённым фармакультурам можно отнести трансгенные кукурузу, сою, табак и рис. Получаемые из них продукты содержат: терапевтические белки, биологически-активные вещества, вакцины, антитела и т.д. Все культуры и препараты находятся на стадии лабораторных исследований.

Ожидается, что общая годовая стоимость биофармацевтической продукции может составить порядка 41 млрд. долл. США, при ежегодном росте в 20%. Притом, что общая стоимость сельскохозяйственной продукции в США составила 279 млрд. долл. (2004 г.).

К экономическим преимуществам выращивания фармакультур можно отнести:

- *Низкую стоимость лекарств (в случаи их официального одобрения), по сравнению с обычными лекарствами.*
- *Возможность резкого роста объёма производства лекарств, в случае увеличения потребительского спроса на них, по сравнению с обычным производством.*

Выращивание ГМО и использование ГМ-продуктов достаточно настороженно встречается как многими специалистами, так и обществен-

ностью, обеспокоенными вопросами обеспечения продовольственной безопасности, воздействием ГМО на окружающую среду и здоровье населения. Всё это ставит под вопрос, дальнейшее расширение площадей под ГМ-культурами и рынков сбыта для ГМ-продукции.

Подтверждением этого служит осторожный подход Китая к экспорту ГМ-сои из США, после его вхождения в ВТО (2002г.). Продажи сои Китаю упали на 23% по сравнению с 2001 годом. Это произошло во многом из-за введённых Китаем длительных процедур испытания и лицензирования ГМ-продукции. Всё это не могло не сказаться на прибылях американских фермеров.

Ещё более сильные оппозиционные настроения в отношении импорта ГМ-продукции царят в Евросоюзе. До последнего времени, ЕС допускал импорт только двух ГМ-культур: Bt-кукурузы и устойчивой к глифосату сои. Политика ЕС в отношении ГМ-продуктов изменяется вследствии широкой общественной дискуссии по рискам связанным с ГМО. Об этом свидетельствуют результаты референдума прошедшего в Швейцарии в ноябре 2005 года. В ходе его проведения, 55,7% населения проголосовали за введение пятилетнего моратория на ГМ-культуры. Опрос общественного мнения, проведённый в ЕС в 2006 году, ещё раз подтвердил негативное отношение европейцев к ГМ-продуктам.

ВТО до последнего времени не рассматривала социально-экономические риски, связанные с ГМО. В частности, то, что экспорт ГМО может привести к исчезновению традиционных/аборигенных сортов и пород и подрыву местных культурных традиций в странах импортёрах. В то же время, некоторые соглашения в рамках ВТО, включая Санитарное и фитосанитарное Соглашение (SPS), Технические барьеры торгового соглашения (TBT) и Соглашение об интеллектуальной собственности в сфере торговли (TRIPS), включают пункты, оговаривающие вопросы биобезопасности.

Один из важных дискуссионных аспектов практического применения ГМО связан с *проблемами собственности, патентования и обеспечения доступа к новым продуктам и технологиям их получения*.

С 1980 года система патентования была распространена на гены и генетически-модифицированные организмы. Этому способствовало развитие генной инженерии, и повышенный интерес к коммерческому использованию генетических ресурсов.

Сегодня патентование ГМО и ГМ-признаков стало одним из сверхприбыльных видов бизнеса. Каждый год, западные биотехнологические компании со стремительной скоростью патентуют генетический материал. Генуотч Великобритания (Genewatch UK) опубликовала информацию, согласно которой, к ноябрю 2000 года было запатентовано более чем 500 тыс. генов и нуклеотидных последовательностей.

В настоящее время также запатентовано большое количество сельскохозяйственных культур. Фермеры, которые выращивают такие культуры, не имеют контроля над посевным материалом и должны выплачивать так называемую «*технологическую плату*». В случае с за-

патентованными семенами фермерам не разрешается сохранять или использовать их повторно. Ситуация усугубляется, всё более, широким использованием биотехнологическими компаниями так называемых *«терминаторных технологий»,* делающих ГМ-семена выращенных растений стерильными и вынуждающих фермеров ежегодно закупать дорогой семенной материал. По данным ООН, во всём мире более 1,4 млрд. человек зависят от посевного материала, сохранённого фермерами, и технология «терминаторов» ставит под угрозу обеспечение мировой продовольственной безопасности.

В ситуации, когда транснациональные компании покупают национальные компании, торгующие семенами и посадочным материалом, оказывают давление на рынки семян и посадочного материала на юге и искусственно ограничивают выбор видов семян доступных сельхозпроизводителям, фермерам ничего не остаётся, как использовать ГМ-семена. Например, в Бразилии компания «Монсанто» контролирует более 60% маисового рынка, в Аргентине около 90% соевого рынка с монопольным правом на семена. В Южной Африке компания «Монсанто» выкупила местную семенную компанию «Сенсако», а другая южноафриканская компания «Карния» продала «Монсанто» большую часть своих акций.

Уже сегодня система патентования привела к судебным разбирательствам, где истцами выступают биотехнологические компании, а ответчиками фермеры, незаконно выращивающие ГМ-культуры или те поля, которых были генетически загрязнены пыльцой трансгенных растений. В этом случае компании, требуют от фермеров уплаты огромных исков и возможности контролировать их семенной материал.

Однако, по мнению многих учёных, только патенты защищают их интеллектуальные права на сделанные открытия/изобретения и могут обеспечить финансовую поддержку дальнейших исследований в области современной биотехнологии.

ЛЕКЦИЯ 4

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ГМ-КУЛЬТУР

ВОПРОСЫ

1. Распространение ГМ-культур в мире
2. Ситуация с ГМ-культурами в странах ВЕКЦА
3. Зоны свободные от ГМО

1. Распространение ГМ-культур в мире

В 2016 году исполнилось 20 лет коммерческого выращивания ГМ-культур. Первые масштабные посевы были произведены в США в 1996 году, а общая площадь ГМ-посевов составила около 1,7 млн. га (Рис. 1). По данным Международной службы по содействию аграрным био-

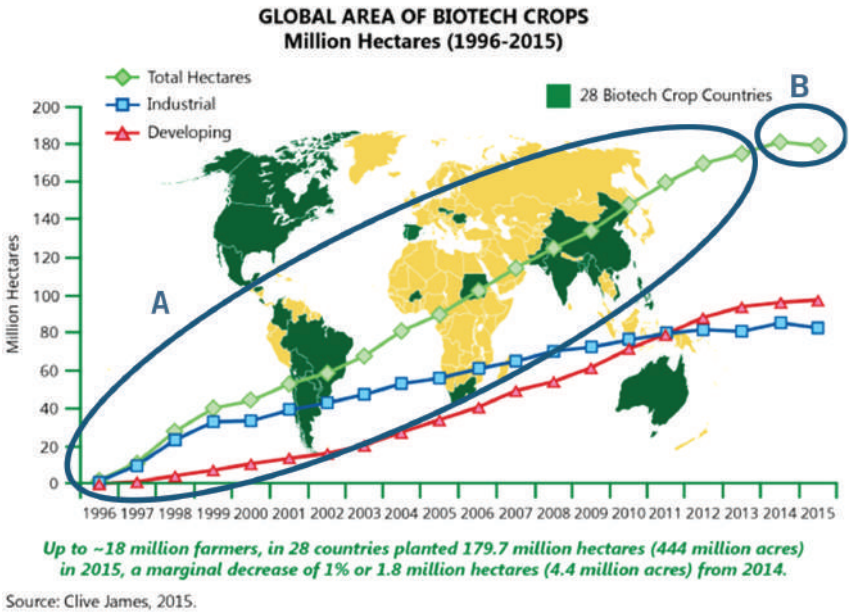


Рис. 1. Мировые площади ГМ-культур (в млн. га/акр) 1996-2015 гг.

технологиям (ISAAA) За последующие 20 лет, площадь занятая ГМ-культурами увеличилась более чем в 100 раз и составила в 2015 году 179 млн. га. Мировой прирост ГМ-культур с 2013 года увеличился на 6,3 миллиона гектаров, 3,6%.

На протяжении первых 7 лет культивации, с 1996 по 2002, 90% всех ГМ-культур выращивалось в США, Аргентине и Канаде. В 2004 году в этих трёх странах было сконцентрировано более 84% полей занятых ГМ-культурами, хотя за последние существенно выросли площади ГМ-посевов в Бразилии, Китае и Индии.

В настоящее время ГМ-культуры выращиваются в 28 государствах мира, включая 20 развивающихся и 8 индустриальных стран (Рис. 2). Из 28 стран 19 государств относятся к группе Мега-стран, площади ГМ-культур в которых составляет более 50 тыс. га. В число лидеров вошли: США (70,1 млн. га), Бразилия (40,3 млн. га), Аргентина (24,4 млн. га),) Индия (11,0 млн. га), Канада (10,8 млн. га). На первые 10 стран, в которых выращивают ГМ-культуры по-прежнему приходится 98% от всех выращиваемых ГМ-культур.

ГМ-культуры, в 2015 году, выращивали 18 миллионов фермеров из 28 стран мира. Из них более 90% или 16,5 млн. фермеров владеют небольшими хозяйствами из развивающихся стран. Из них 7,1 млн. фермеров находятся в Китае и 7,7 млн. в Индии. Экономическая выгода от выращивая ГМ-культур за 1996-2015 гг. составила 150 млрд. дол. США.

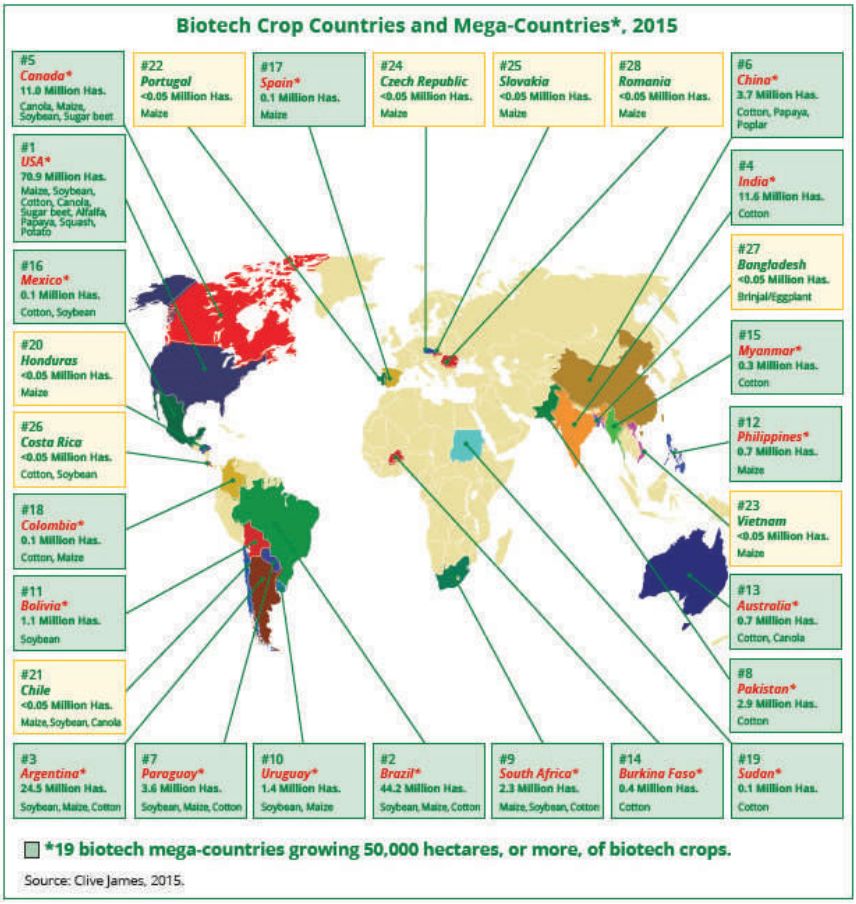


Рис. 2. Страны, имеющие наибольшие площади ГМ-культур, 2015 г.

Основу ГМ-сектора в мировом сельском хозяйстве составляют восемь культур: соя, кукуруза, хлопок, рапс, кабачок, папайя, люцерна и рис, но лишь четыре из них – соя, кукуруза, хлопчатник и рапс занимают более 99% мировых посевов всех ГМ-растений (Рис. 3, Табл. 1). По данным за 2015 год соя остаётся основной биотехнологической культурой и занимает 92.1 миллионов гектаров (83 % общей площади ГМ-культур), за ней следует кукуруза (53.6 миллионов гектаров, около 29 %), хлопок (24.0 миллионов гектаров, около 78 %) и рапс (8.5 миллиона гектаров, или около 24%). Зерновые ГМ-культуры выращиваются менее чем на 4% от всех сельскохозяйственных земель во всем мире и на 13% мировых пахотных земель.

В 2006 году сорта устойчивые к гербицидам (соя, кукуруза, рапс, хлопок и люцерна) выращивались на 69,9 млн. га или 68% от общей пло-

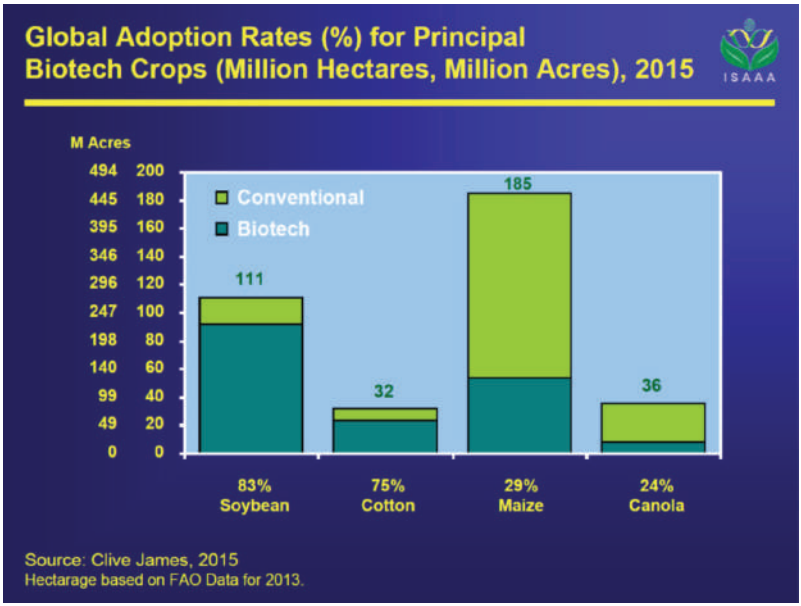


Рис. 3. Мировые площади/культуры ГМ-посевов в 2014 году

щади занятой под ГМ-посевы; устойчивые к вредителям (Bt-культуры кукурузы и хлопчатника) заняли 19 млн. га (19% площадей). Остальные 17% составили ГМ-сорта кукурузы и хлопчатника, устойчивые, как к гербицидам, так и вредителям.

Лидером на рынке производства и продаж ГМ-культур и ГМ-продуктов остаются США. Площадь, занятая под ГМ-культурами в этой стране составила 73,1 млн.га. Несмотря на то, что к декабрю 2014 года Департамент сельского хозяйства США одобрил 71 линию ГМ-культур, до сих пор в США выращивается малое разнообразие ГМ-растений. Более или менее широко внедрены в коммерческое производство лишь 4 культуры - кукуруза, хлопчатник, соя и рапс, обладающие двумя свойствами, устойчивость к гербицидам и вредителям.

Сегодня опережающими темпами внедрятся трансгенные сорта сельскохозяйственных культур в развивающихся странах. При этом, страны, ставшие на путь модернизации сельскохозяйственного производства на основе применения трансгенных форм, неуклонно снижают использование традиционных сортов, так например, в мировой практике в настоящее время трансгенные соя и хлопчатник занимают более половины общих площадей, отведенных под выращивание этих культур.

Соя является одной из главных культур для экономики многих стран Южной Америки, включая Бразилию и Аргентину, которые являются вторым и третьим производителями сои в мире после США. Соя,

Таблица 1. **Общая площадь биотехнологических культур в 2014 году: по странам (млн. га)**

№ п/п	Страна	Площадь (млн. га)	Биотехнологические культуры
1	США *	73,1	Кукуруза, соя, хлопок, рапс, сахарная свекла, люцерна, папайя, тыква
2	Бразилия *	42,2	Соя, кукуруза, хлопок
3	Аргентина *	24,3	Соя, кукуруза, хлопок
4	Индия *	11,6	Хлопок
5	Канада *	11,6	Канола, кукуруза, соя, сахарная свекла
6	Китай *	3,9	Хлопок, папайя, тополь, помидоры, сладкий перец
7	Парагвай *	3,9	Соя, кукуруза, хлопок
8	Пакистан *	2,9	Хлопок
9	ЮАР *	2,7	Кукуруза, соя, хлопок
10	Уругвай *	1,6	Соя, кукуруза
11	Боливия *	1,0	Соя
12	Филиппины *	0,8	Кукуруза
13	Австралия *	0,5	Хлопок, рапс
14	Буркина-Фасо *	0,5	Хлопок
15	Мьянма *	0,3	Хлопок
16	Мексика *	0,2	Хлопок, сои
17	Испания *	0,1	Кукуруза
18	Колумбия *	0,1	Хлопок, кукуруза
19	Судан *	0,1	Хлопок
20	Гондурас	<0,05	Кукуруза
21	Чили	<0,05	Кукуруза, соя, рапс
22	Португалия	<0,05	Кукуруза
23	Куба	<0,05	Кукуруза
24	Чешская республика	<0,05	Кукуруза
25	Румыния	<0,05	Кукуруза
26	Словакия	<0,05	Кукуруза
27	Коста-Рика	<0,05	Хлопок, сои
28	Бангладеш	<0,05	Баклажан
Всего		**181,5**	

** 19 биотехнологических мега-стран, которые выращивают зерновые биотехнологические культуры на 50 000 га или больше;*

*** округлено до ближайшей сотне тысяч.*

произвёдённая в Южной Америке, в основном предназначена для экспорта. В Парагвае 65% произведённой сои экспортируется. В Бразилии этот показатель достигает 72,4%, а в Аргентине – 92%.

Именно поэтому лидирующее место среди культивируемых, в Южной Америке, Гм-культур принадлежит трансгенной сое. В Бразилии 30% выращиваемой сои, является генетически модифицированной, в Парагвае эта цифра достигает 80% и почти 100% в Аргентине.

Внедрение сои в Аргентине произошло очень быстро - от 10% всей площади в 1996 году до 90% в 2001 году. Однако увеличение площадей, занятых ГМ-соей, с 6 млн. га в 1997 г. до 14,2 млн. га в 2004 г. сопровождалось значительным негативным влиянием на окружающую среду и социальное развитие. Обезлесение, эрозия почвы, повышенное использование глифосата, концентрация сельскохозяйственных земель и сокращение количества семейных ферм сопутствовали экспансии сои в Аргентине.

На сегодняшний день в Бразилии одобрены две ГМ-культуры. В дополнении к сое в марте 2005 г. был также одобрен ГМ-хлопчатник компании «Монсанто», однако эта культура в стране пока не выращивается, так как Национальная техническая комиссия по безопасности обязала «Монсанто» провести оценку её воздействия на окружающую среду. ГМ-кукурузу в Бразилию разрешается ввозить только в виде фуража, выращивание же её там запрещено. В октябре 2006 года правительство ввело новые ограничения, запретив выращивание ГМ-культур на землях коренного населения.

Хлопчатник выращивается в 60 странах мира, но 75% объёма его производства, 71% площадей и 70% потребления приходится всего лишь на пять стран: Китай, Индию, Пакистан, США и Узбекистан. Выращивание ГМ-хлопчатника разрешено в следующих странах: Аргентине, Бразилии, Парагвае, Мексике, Колумбии, Австралии, Китае, Колумбии, Индии, Пакистане, Индонезии, Мьянме, Мексике, Южной Африке, Буркина-Фасо, Судане и США.

Китай является крупнейшим в мире производителем хлопчатника, там под его выращивание в 2005-2006 гг. было отдано 5 млн. га, из которых на долю ГМ-хлопчатника пришлось 3,5 млн. га. В 2014 году под трансгенный хлопчатник было отдано 3,9 млн. га, что составило 93% от общих площадей (4,2 млн. га) занятых в стране хлопком. В Китае также самое большое количество в мире фермеров, выращивающих хлопчатник, около 14 млн., из которых около половины 7,1 млн. культивируют ГМ-хлопчатник. С 1997 года в Китае активно внедрялся Bt-хлопчатник, и по данным ряда исследований, это привело к росту доходов фермеров, уменьшению использования пестицидов и повышению урожайности.

Однако по данным других исследований наблюдается обратная тенденция. Исследование, проведённое Корнельским университетом, в пяти китайских провинциях, показало, что в 2004 году чистая выручка Bt-фермеров была значительно ниже по сравнению с доходами обычных фермеров. Причиной стало появление вторичных вредителей, в частности, слепняков (*Miridae*), из-за чего фермеры были вынуждены использовать гораздо больше пестицидов, чем раньше. Эти результаты противоречат, данным Международной службы по мониторингу за при-

менением агробиотехнологий (ISAAA, 2005) согласно которым 6,4 млн. фермеров увеличили своё благосостояние за счёт Bt-хлопчатника.

Хлопчатник является экономически значимой для Индии культурой. В 2006 году Индия впервые обогнала по этому показателю Китай. Если в 2002 году, когда было начато коммерческое выращивание ГМ-хлопчатника, под хлопок было отдано около 50 тыс. га то 2014 году его площади уже занимали 11,6 млн. га. Выращиванием хлопка занимаются 7,7 млн. мелких фермеров, суммарный доход которых за это период составил более 17 млрд. дол. США.

Увеличивается количество африканских стран занятых выращиванием Bt-хлопка. Кроме традиционной ЮАР в это список попали Буркина-Фасо и Судан. Так в Судане, по данным ISAAA за 2014 год, под трансгенных хлопок занято более 90 тыс. га. Практически такие же площади используются под Bt-хлопок и в Буркина-Фасо.

Bt-хлопчатник внедрялся в стране на фоне противостояний и несмотря на зафиксированные в конце 2001 года факты генетического загрязнения обычных культур. Следующие годы характеризовались агрессивным маркетингом Bt-хлопчатника, который сопровождался повышением цен, агротехническими проблемами, низкими доходами для фермеров и постоянными протестами. В мае 2005 года Комитет по регулированию генной инженерии отказал «Монсанто» в возобновлении лицензии на продажу трёх сортов ГМ-хлопчатника.

ГМ-хлопчатник разрешён к выращиванию и в Аргентине, где на его долю приходится около 60% площадей занятых этой культурой. За последнее десятилетие значительно сократились площади, занятые под хлопчатник: с 1 млн. га в 1995-1996 гг. до 158 209 га в 2002-2003 гг. Низкий уровень мировых цен и скудное финансирование в значительной мере ухудшили состояние местного хлопкового сектора, что вынудило аргентинских фермеров отдать предпочтение выращиванию сои.

Основными создателями ГМ-растений являются компании «Монсанто», «Сингента», «Пайонир», «Байер КропСайенс», «Дюпон». Среди новых культур, допущенных к коммерческому использованию можно отметить рис, сахарная свекла, баклажан, томаты, сладкий перец, тыква, люцерна и тополь. Bt-баклажан стал коммерциализирован в Бангладеш в 2014 году. Пока он выращивается всего на 12 га. В Бангладеш имеется приблизительно 9 млн. гектаров сельскохозяйственных земель, и в соответствии с ISAAA, под баклажаны планируют выделить около 5 тыс. гектар. ГМ картофель, который менее восприимчив к потемнению, с более низким уровнем акриламида был одобрен в США, но еще не поступил в продажу. В 2013 году ГМ-люцерна устойчивая к гербициду Раундап и с малым содержанием лигнина, селекции компании «Монсанто», была утверждена в США и Канаде. Люцерна Roundup Ready выращивается в США, но из-за фермерского и общественного протеста еще не выращивалась в коммерческих масштабах в Канаде.

В семи странах Африки (Камеруне, Египте, Гана, Кении, Мали, Нигерии и Уганде) провели полевые испытания по широкому кругу основных

культур: рис, кукуруза, пшеница, сорго, бананы, маниока и сладкий картофель. Проект WEMA предполагает выращивание в Южной Африке с 2017 года засухоустойчивого сорта кукурузы обладающего устойчивостью к насекомым вредителям (Bt-форма). Планируется, что затем этот сорт будет районирован в Кении и Уганде, а затем в Мозамбике и Танзании.

Страны Европейского Союза являются аутсайдерами в списке стран выращивающих ГМ-культуры. Эта ситуация объясняется негативным отношением общественности и правительств ряда стран ЕС к проникновению на территорию Европы ГМ-культур и ГМ-продуктов.

На 2015 год в ЕС ГМ-культуры выращивают пять стран: Испания, Португалия, Чешская Республика, Словакия и Румыния. Все они выращивают Bt-кукурузу, под которую всего занято чуть больше 143 тыс. га. Лидером среди них является Испания, площадь ГМ-кукурузы в которой составила году более 100 тыс. га. В остальных странах ЕС под ГМ-кукурузу занято менее 50 тыс. га.

2. Ситуация с ГМ-культурами в странах ВЕКЦА

В странах ВЕКЦА (страны Восточной Европы, Кавказа, Центральной Азии) на коммерческой основе ГМ-культуры не выращиваются, однако некоторые культуры завозятся и/или выращиваются на опытных полях в исследовательских целях. В том числе в России разрабатываются и проходят полевые испытания трансгенные сорта томата и рапса устойчивые к фитопатогенам и гербицидам, трансгенные растения плодовых (яблоня, груша и вишня), ягодных (земляника и актинидия), декоративных (хризантема, гвоздика), овощных (морковь), злаковых (пшеница).

На Российском рынке ГМ-продукция появилась в 90-е годы. В настоящее время в России разрешенными являются 16 линий ГМ-культур (6 линий кукурузы, 3 линии сои, 3 линии картофеля, 2 линии риса, 2 линии свеклы) и 5 видов микроорганизмов. В 1999 году Центром «Биоинженерия» РАН совместно с компанией «Монсанто» начаты работы по созданию трансгенных сортов картофеля на базе российских сортов «Луговской» и «Невский». Центр «Биоинженерия» РАН, кроме трансгенного картофеля, специализируется на создании ГМ-подсолнечника.

В 2004 году в г. Пущино Московской области проходили полевые испытания трансгенной пшеницы устойчивой к гербициду «Баста» компании «Байер КропСайенс».

В Беларуси научные исследования, имеющие конечной целью создание трансгенных растений, были начаты по инициативе академика Н.А. Картеля в 2002 г. в рамках государственной программы «Генетическая инженерия».

В 2006 г. в руководимой им лаборатории в Институте генетики и цитологии НАН Беларуси были созданы модельные растения табака, устойчивые к высоким дозам тяжелых металлов и нефтепродуктов. Создаются трансгенные растения картофеля с геном хитиназы из бактерии *Serratia plymuthica*, табака с геном цитохрома P450scc, льна, рапса масличного, клюквы крупноплодной и др.

В Украину в 1997 году компанией «Монсанто» был импортирован из Канады трансгенный сорт картофеля “Новый лист”, устойчивый к колорадскому жуку. Три сорта этой культуры - Atlantic, Superior и Russet Burbank - со встроенным геном почвенной бактерии *Bacillus thuringiensis* (Bt-форма) прошли полевые испытания в нескольких областях Украины. Сейчас три зарубежные фирмы – «Monsanto», «AgrEvo» и «Novartis» - занимаются испытаниями трансгенов на Украине.

В июне 1996 года в Грузию был ввезен и посажен картофель компании «Монсанто» “Новый лист”. В 1997 году ГМ-картофель опять был посажен, несмотря на решение Комитетов Парламента по сельскому хозяйству и окружающей среде о запрещении импорта и посадок генно-инженерных культур до ввода в действие соответствующего законодательства. Урожай ГМ-картофеля 1997 года практически весь погиб, пораженный грибком и не выдержавший климатических условий Грузии.

3. Зоны свободные от ГМО

С каждым годом картина с полями, засеянными ГМО, изменяется во всем мире. Некоторые страны расширяют подобные посевные площади, а некоторые наоборот полностью отказывают от модифицированных культур (Рис. 4). Такие страны (территории) получили статус зон свободных от ГМО.

В зоне, свободной от ГМО (ЗСГМО) как правило:

- запрещается выращивание ГМ-культур на государственных землях;

- запрещается использование ГМ-продуктов в государственных учреждениях (школах, больницах, военных частях и т.д.);

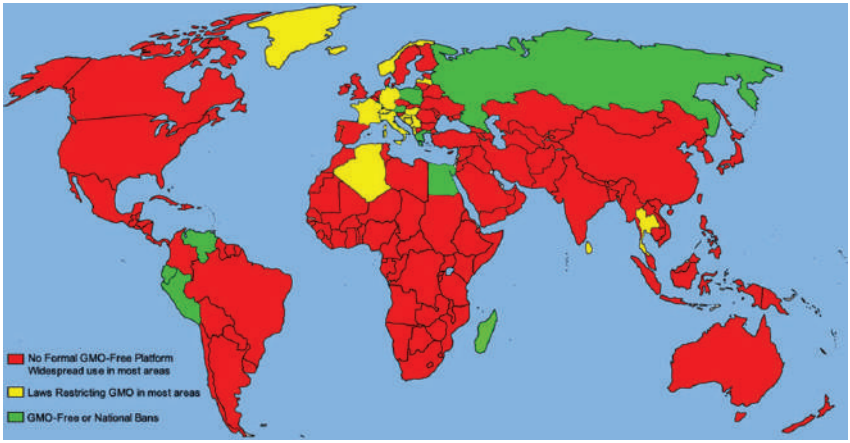


Рис. 4. Карта стран с различным статусом в отношении выращивания ГМ-культур: красный - широкое выращивание ГМ-культур в большинстве районов; желтый - законы, ограничивающие выращивание ГМ-культур в большинстве областей; зеленый - выращивание ГМ-культур под национальным запретом

- рекомендуется ограничить использование ГМО частным фермерским хозяйствам, крупным торговым сетям;

- вводится система контроля над исполнением принятых решений.

Всего создано более 1300 таких зон, расположенных в 35 странах.

Несмотря на то, что США традиционно считается родиной ГМ-культур только в штате Калифорния округа Мендосино, Троицы и Марин успешно запретили выращивание ГМ-растений.

С июня 2016 года в России введен полный запрет на выращивание ГМО-культур и разведение ГМО-животных, до этого принимались некоторые меры по запрету ввоза отдельной продукции из разных стран, в частности всей сои и кукурузы из США. Также в России с июля 2016 года запрещено ввозить корм для животных, содержащий ГМО-компоненты.

В Австралии несколько австралийских штатов запретили ГМ-культуры, но большинство из них с тех пор сняли эти запреты. Только в Южной Австралии до сих пор действует запрет на ГМ-культуры, хотя в Тасмании мораторий действует до ноября 2014 года. В Японии и Новой Зеландии введён официальный запрет на выращивание ГМ-культур. В Германии существует запрет на выращивание и продажу ГМО кукурузы.

Только на территории Европейского союза создано 174 зон, свободных от ГМО. Более 4500 муниципалитетов и 1000 фермерских хозяйств также заявили о нежелании выращивать ГМ-культуры. Жесткие ограничения выращивания и распространения ГМО введены также во многих странах: от Новой Зеландии до Германии. Пять стран – Австрия, Венесуэла, Греция, Польша и Швейцария – являются полностью свободными от ГМО.

В Норвегии с 2014 года введён запрет на выращивание и продажа ГМО. В Ирландии все ГМ-культуры были запрещены для выращивания ещё в 2009 году и введена добровольная система маркировки продуктов, содержащих генетически модифицированные пищевые продукты.

В Австрии, Венгрии, Греции, Польше, Болгарии, Люксембурге и Италии - есть запреты на выращивание и продажу ГМО. Во Франции: ГМ кукуруза MON810 компании «Монсанто» была раньше разрешена в стране, но ее выращивание было запрещено правительством с 2008 года. Мадейра (Португалия) выступила с предложением о введении общенационального запрета на ГМ-культуры. Это предложение получило поддержку со стороны национального правительства и ЕС, но пока действует только на Мадейре.

В Швейцарии был введён пятилетний первоначальный запрет на все ГМ организмы, после проведенного в 2005 году общественного референдума лет. Запрет был продлен до 2013 года.

В Таиланде: страна одновременно поддерживает и выступает против ГМ-культур. Страна завезла ГМ папайю из Гавайских островов, где она проходила широкомасштабные испытания, но изменила свои планы, когда семена стали дикими и начали загрязнять близлежащие культуры. В результате некоторые страны, такие как Япония предприняли попытки ограничить импорт папайи из Таиланда, не желая импортировать любые генетически модифицированные пищевые продукты. Таиланд в настоя-

щее время пытается охватить две стороны - производство органических продуктов питания для некоторых стран по высокой цене, хотя заметна тенденция к выращиванию ГМ-культур. Страна также пыталась объявить некоторые области зонами свободными от ГМО с целью повышения уровня доверяя среди других стран к их продуктам питания.

ЛЕКЦИЯ 5

ПРОБЛЕМЫ БИОБЕЗОПАСНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГМО

ВОПРОСЫ

1. Методы обнаружения ГМО
2. Критерии и методы оценки безопасности ГМО
3. Требования к полевым испытаниям ГМ-растений

1. Методы обнаружения ГМО

Увеличение использования ГМО и их компонентов в производстве продуктов питания, сельскохозяйственных кормов и фармацевтических препаратов делает всё боле актуальным вопрос разработки эффективных методов идентификации трансгенной ДНК.

В настоящее время наиболее разработаны и широко применяются методы обнаружения фрагментов чужеродной ДНК, основанные на использовании различных видов ПЦР (полимеразная цепная реакция). ПЦР - это метод, который позволяет проверить генетический материал, выделенный из исследуемого образца, на наличие в его составе участка чужеродной или измененной ДНК и используется для получения множества копий непротяженных участков ДНК, специфичных для каждого конкретного белка, а также исследуемого генетически обусловленного признака (Рис. 1).

В основе метода ПЦР лежит способность хорошо известных в молекулярной биологии ферментов, ДНК-полимераз, осуществлять направленный синтез второй, т.е. комплементарной (спаренной) цепи ДНК, по имеющейся матрице одноцепочечной ДНК, наращивая небольшую олигонуклеотидную затравку (праймер), комплементарную участку этой матрицы, до размеров в несколько тысяч или даже десятков тысяч звеньев. Повышая температуру, можно добиться остановки реакции и последующей денатурации полученной ДНК, т.е. разделения цепей полученной в ходе реакции двуцепочечной ДНК. Если в реакционной смеси присутствует избыток праймера, то, значительно снизив температуру, чтобы праймер мог вновь связаться с тем же самым комплементарным участком ДНК, и, добавив новую порцию фермента, можно вновь установить температуру, необходимую для реакции полимеризации, и, таким образом, проведя реакцию еще раз, увеличить количество ранее полученного продукта. Многократное, или как говорят цикличе-

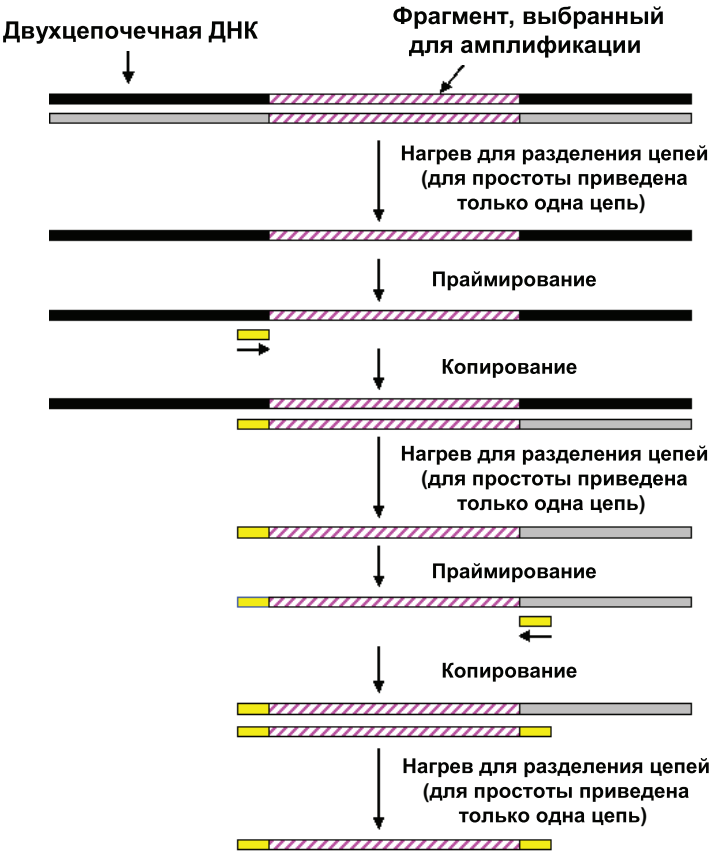


Рис. 1. Метод ПЦР (www.sciencerussian.sibenzyme.com)

ское, повторение этой процедуры позволяет наработать значительное количество копий участка ДНК, начинающегося с данного праймера. Один цикл ПЦР осуществляется за 1–2 мин, так что в течение нескольких часов можно получить 100 млрд. копий.

Описанный метод позволяет получать достаточное количество материала для разнообразных экспериментальных исследований. ПЦР используют в опытах по клонированию или направленной модификации нуклеотидных последовательностей, а также во всех тех случаях, когда для проведения анализа нужно увеличить количество исследуемого генетического материала; примеры тому – пренатальная (*до рождения*) диагностика рецессивных наследственных заболеваний, исследование ископаемых остатков живых существ, проведение «молекулярной дактилоскопии» в судебной практике, выявление трансгенной ДНК в сель-

скохозяйственных и пищевых продуктах, идентификация патогенных микроорганизмов в биологических жидкостях человека.

Кроме описанного выше метода ПЦР, для выявления трансгенных фрагментов ДНК используется целый ряд других методов:

• ***Методы обнаружения ГМО, основанные на исследовании трансгенных белков.*** Процесс создания ГМ растений основан на введении в клетки организма-реципиента чужеродных генных конструкций обеспечивающих синтез новых белков. Таким образом, появляющиеся в растении в результате генетической модификации белки могут служить маркерами генетической модификации. К этой группе методов относят различные иммунологические методики, основанные на использовании *антител (особые белки, вырабатываемые иммунной системой организма в ответ на проникновение чужеродных организмов или их фрагментов) специфичных к маркерным белкам, используемым при создании ГМО.*

• ***Хроматографические методы.*** Используются в том случае, когда генетическая модификация приводит к появлению и/или увеличению содержания специфических жирных кислот или триглицеридов. Использование подобного метода диагностики была показана для растительного масла полученного из ГМ рапса.

• ***Методы спектроскопии.*** В ряде случаев генетические модификации могут приводить к изменению структуры растительных волокон при отсутствии видимых изменений в белковом или жирнокислотном составе. Подобный тип изменений наблюдается, например у трансгенной сои линии 40-3-2 (Roundup Ready Soy).

• ***Технология ДНК-чипов.*** ДНК-чипы - это наборы из большого числа олигонуклеотидов на миниатюрных твердых подложках, предназначенные для анализа последовательности ДНК. Метод основан на том, что с помощью фотолитографии на небольшой поверхности размещают огромное число ***олигонуклеотидов*** (*одноцепочечные фрагменты ДНК*). Количество таких полинуклеотидных ячеек, а следовательно и количество различных нуклеотидных последовательностей, может превышать 1 млн. на 1 см^2, их длина варьирует от 9-10 до 1000 нуклеотидов. После проведения ПЦР, полученные продукты реакции могут быть автоматически проанализированы методом гибридизации с меченными олигонуклеотидами на ДНК-чипах, что значительно ускоряет процесс идентификации трансгенной ДНК.

2. Критерии и методы оценки безопасности ГМО

Риск и оценка риска.

По наиболее общему определению риск – это вероятность нежелательного события. Учитывая также величину потенциального ущерба в случае, если данное событие будет реализовано, риск определяется математическим выражением:

риск = вероятность × последствие, или

риск = вероятность негативного воздействия фактора риска × × величина последствий воздействия.

Часто риск определяют через взаимодействие фактора риска и экспозиции (exposure), т.е. степени, продолжительности воздействия на «мишень» (здоровье человека, окружающую среду). Степень подверженности «мишени» тому или иному фактору риска выражается как частота и продолжительность контакта человека или другого биологического объекта, например экосистемы, с вредным веществом определенной концентрации. Следовательно, подверженность фактору риска пропорциональна вероятности и величине (значимости) воздействия фактора риска на существо (объект) этого воздействия. ***А риск определяется как риск = фактор риска × подверженность «мишени» фактору риска (экспозиция).***

Риск генно-инженерной деятельности (ГИД). Для получения экономической выгоды от внедрения биотехнологии в производство в настоящем и будущем в каждом государстве должен функционировать регуляторный механизм, который обеспечит безопасное и устойчивое развитие. Обязательным компонентом такого механизма является идентификация и минимизация любых потенциальных рисков для здоровья человека и окружающей среды, возникающих вследствие генно-инженерной деятельности. При этом оценка риска производится на всех уровнях манипуляций с ГИО: от лабораторных исследований до широкого внедрения ГИО или продуктов, содержащих ГИО, на товарный рынок.

В соответствии с действующими международными правовыми документами (в частности директивными документами Европейского союза) целью процедуры оценки риска ГИД является идентификация всех возможных вредных для здоровья человека и окружающей среды прямых и непрямых, немедленных и отдаленных воздействий ГИО; оценка вероятности осуществления данных воздействий в рамках рассматриваемой ГИД и размера ущерба здоровью человека и окружающей среде при допущении, что они осуществятся.

В итоге процедура оценки риска должна дать ответ на следующие вопросы:

1. Является ли потенциальный риск ГИД приемлемым в сопоставлении с выгодами, получаемыми в результате ее осуществления?

2. Имеются ли регуляторные механизмы, адекватные для безопасного осуществления ГИД?

Принцип принятия мер предосторожности.

Источники появления и применения принципа принятия мер предосторожности проистекают из экологического общественного движения 70-х гг. прошлого века, когда он был сформулирован как реакция на скептицизм относительно возможности научной оценки риска и предотвращения вредных последствий применения сложных технологий. Принцип гласит, что при отсутствии необходимых знаний (научная неопределенность) предпочтительнее осуществлять меры безопасности с избытком, страхующим здоровье человека и окружающую среду в случае ошибок в оценке риска. Принятие мер предосторожности явля-

ется политической аксиомой. Строгая (жесткая) интерпретация принципа – никаких неприемлемых рисков – требует «высокого стандарта» доказательств о безопасности технологии ГИД от тех, кто ее внедряет. Практически это требование интерпретируется выражением – «не предпринимай никаких действий, пока ты не уверен, что они не нанесут вреда» (т.е. риски исключаются или пренебрежительно малы). Груз ответственности за биобезопасность ГИД на ее апологетов налагает и менее строгая (мягкая) трактовка принципа предосторожности – отсутствие полноты знаний не оправдывает бездействие (ибо потворствует нанесению вреда). Комиссия ЕС выработала правила использования принципа принятия мер предосторожности в процедурах оценки и управления риском ГИД «прозрачным» образом:

• **Адекватность**. Меры по управлению риском ГИД должны быть пропорциональны желаемому уровню защиты, а не должны ставить своей целью снижение риска до нуля.

• **Отсутствие дискриминации**. Сходные ситуации при оценке и управлении риском ГИД не должны рассматриваться различным образом, а различные ситуации не должны рассматриваться сходным образом без объективных оснований осуществлять оценку именно таким образом.

• **Пропорциональность соответствия**. Меры по управлению риском ГИД в условиях, когда получены все необходимые данные, не обязаны быть точь-в-точь такими, как принимавшиеся ранее в подобных случаях – главное эффективность.

• **Изучение выгоды и стоимости действия или отсутствия действия**. Такое изучение должно включать экономический анализ (расчет соотношения цены и выгоды), когда он возможен и выполним.

• **Изучение научного развития**. Меры по управлению риском должны иметь предварительный (временный) характер в ожидании возможности получить более достоверные научные данные. Научные исследования должны продолжаться до получения более полных данных.

• **Учет развития научных данных о факторе риска при его оценке**. Новые научные данные по фактору риска немедленно учитываются в алгоритмах оценок и действиях.

На рис. 2 представлены компоненты «идеальной» системы оценки риска. Применяемая в разных странах методика оценки риска ГИД в большей или меньшей степени соответствует приведенной выше системе оценки риска. Требования к процедуре оценки риска ГИД, характерные для Европейского союза, приведены в директивных документах ЕС, являющихся базовыми, на основании которых разработаны соответствующие процедуры многих европейских стран.

Оценка риска возможных неблагоприятных последствий использования ГИО включает следующие этапы:

1. Выявление любых генотипических и фенотипических характеристик ГИО, связанных с генетической модификацией, которые могут оказать неблагоприятное воздействие на здоровье человека и окружа-

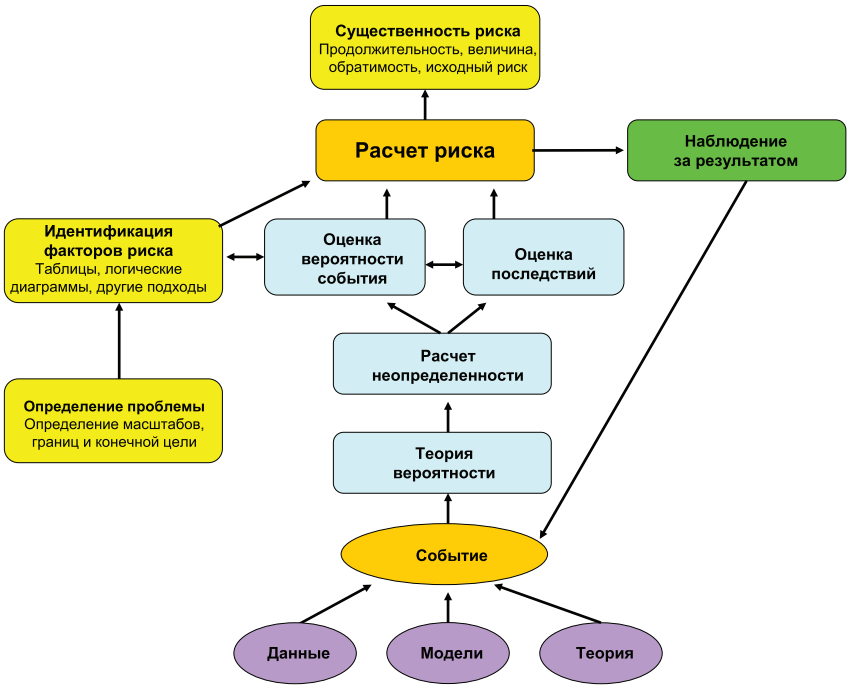


Рис. 2. Компоненты системы оценки риска

ющую среду (выявление факторов риска ГИД). При этом сравнительный анализ ГИО и традиционного аналога в предполагаемых условиях осуществления ГИД будет способствовать идентификации неблагоприятных эффектов, обусловленных именно генетической модификацией исходного организма.

2. Оценка возможных последствий каждого неблагоприятного воздействия ГИД, если оно осуществится.

3. Оценка вероятности неблагоприятного воздействия каждого идентифицированного фактора риска с учетом характера среды осуществления ГИД и ее особенностей.

4. Оценка риска, обусловленного его каждым идентифицированным фактором.

5. Оценка совокупного риска использования ГИО на основе оценки вероятности воздействия и масштаба последствий выявленных факторов риска.

6. Вынесение рекомендаций относительно того, являются ли риски приемлемыми или регулируемыми, включая, если это необходимо, определение стратегий для регулирования таких рисков. Оценка риска, обусловленного его каждым идентифицированным фактором.

3. Требования к полевым испытаниям ГМ-растений

Наиболее часто рассматриваемыми факторами риска для окружающей среды, связанными с использованием ГМО, являются риски, связанные с высвобождением трансгенных растений при введении их в сельскохозяйственную культуру. Это вполне объяснимо, так как воздействия ГМ-растений на природные ландшафты обусловлены их способностью распространяться на обширные территории и сохраняться там достаточно долго. При этом учитываются:

1) эволюционно закрепленная способность к обмену генетическим материалом посредством пыльцы, которая переносится на значительные расстояния с помощью ветра, насекомых и др.;

2) способность к образованию специальных вегетативных органов (клубней, столонов, корневищ), позволяющих выживать в неблагоприятных условиях, быстро размножаться и заселять новые участки местности.

Предотвращение возможного негативного влияния трансгенных растений при их высвобождении является одной из важнейших задач, решаемых учеными и государственными органами охраны природы. В лабораторных условиях изучают генетические механизмы регуляции экспрессии новых, в первую очередь хозяйственно-ценных, признаков ГМ-растений, но эти растения физически изолированы от окружающей среды и не представляют для нее никакой опасности.

Проведение полевых испытаний является следующим шагом изучения трансгенных растений, так как оно проводится в реальных климатических условиях, но с соблюдением изоляции от окружающей природы, на специальных испытательных полях (полигонах). Полигон является охраняемым полем размера ≤1 га, которое обустраивают так, чтобы предотвратить несанкционированное перемещение семян и вегетативной массы испытуемых растений (рис. 3).

Основными целями выращивания ГМ-растений на испытательном поле является изучение генетических, физиологических и других механизмов формирования хозяйственно-ценных признаков, заданных введением в генотип испытуемых растений определенных генов, а также исследование возможных генетических механизмов интродукции чужеродных генов в живые организмы окружающей природы и их последствий. При этом интродуцированные в растения гены не должны попасть с пыльцой в окружающую среду, так как она может оказаться вовлеченной в скрещивания с растениями, произрастающими на окружающей полигон местности; кроме того, ни семена, ни растительные остатки трансгенных растений не должны попасть в пищевую цепочку животных, а тем более – людей. На основании результатов оценки ожидаемых и непредвиденных рисков при выращивании трансгенных растений в условиях испытательного полигона принимается решение о возможности (невозможности) их выпуска в коммерческое производство.

Рис. 3. Примеры испытательных полигонов
Примечание: а – вид типичного испытательного полигона в США;
б – испытательное поле в провинции Манитоба (Канада)

Создание испытательного полигона для ГМ-растений – это не только научный и инженерно-технический, но и правовой объект, и при его строительстве и технико-производственном оснащении должны соблюдаться все требования безопасности, предъявляемые к опытным полям, предназначенным для проведения испытаний непатогенных генно-инженерных организмов при их первом высвобождении в окружающую среду.

Например, в соответствии с законодательством Республики Беларусь, на полигоне, предназначенном для проведения испытаний непатогенных генно-инженерных организмов при их первом высвобождении в окружающую среду, должна оформляться информационная доска, размещенная возле входа на него, на которой должны быть указаны:

- наименование юридического лица или фамилия и инициалы индивидуального предпринимателя, осуществляющего испытания;
- площадь опытного поля;
- предупреждающая надпись о том, что на данном опытном поле проводятся испытания генно-инженерных организмов.

Юридическое лицо (индивидуальный предприниматель) должен иметь паспорт опытного поля, который утверждается руководителем учреждения (индивидуальным предпринимателем).

В паспорте указываются:

- наименование юридического лица (фамилия и инициалы индивидуального предпринимателя), осуществляющего испытания;

- вид (виды) испытываемого генно-инженерного организма;
- область, район, землевладелец, землепользователь или собственник земельного участка, на котором проводятся испытания;
- схема полигона с привязкой к ближайшим населенным пунктам и указанием его площади;
- информация о расположенных на расстоянии до 500 метров от полигона посевах и посадках генно-инженерных растений и сельскохозяйственных культур традиционной селекции;
- перечень видов диких животных, обитающих на испытательном поле и на расстоянии до 300 метров от него, а также видов дикорастущих растений,

произрастающих на примыкающих к опытному полю территориях и на расстоянии до 300 метров от опытного поля;

- описание типа почвы, системы севооборота, используемых удобрений, средств защиты растений от вредителей, болезней и сорняков.

Полигон должен иметь ограждение, препятствующее несанкционированному проникновению на его территорию людей и животных и обеспечивающее защиту генно-инженерных организмов от их несанкционированного перемещения за пределы испытательного поля и передачи ими свойств, приобретенных в результате генно-инженерной деятельности, другим организмам (рис. 4). Для этого предусматривается

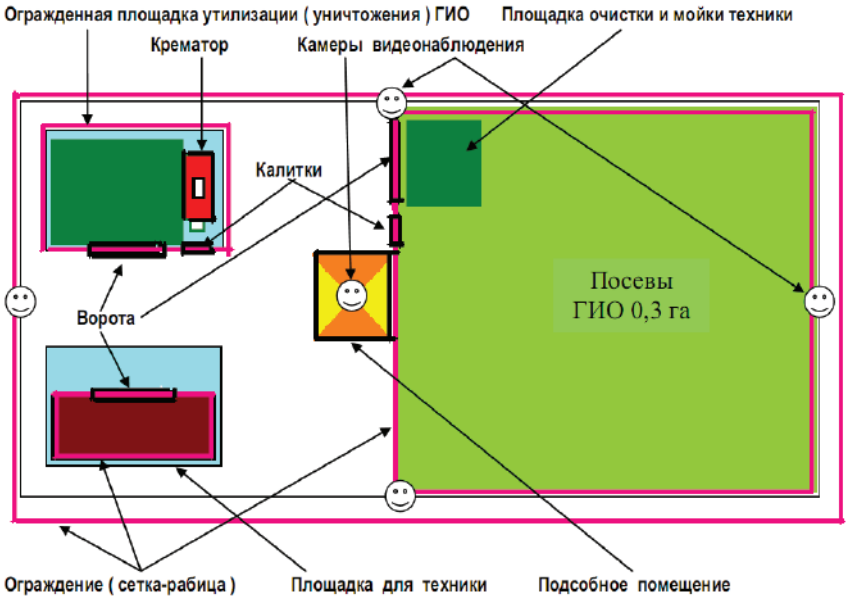


Рис 4. Схема размещения объектов опытного поля (полигона) для испытаний непатогенных генно-инженерных организмов (ГИО)

размещение видеокамер наблюдения, обеспечение охранной сигнализацией, подача светового и звукового предупредительных сигналов при движении кого-либо в сторону объекта, а в случае несанкционированного проникновения на территорию поля – прибытие милиции в течение двух минут.

Для предотвращения несанкционированного перемещения генетически модифицированных организмов за пределы испытательного поля на нем в обязательном порядке должно находиться оборудование для их уничтожения, хранилище продукции генно-инженерных организмов с обеспечением защиты от несанкционированного доступа к ней в том случае, если необходимо осуществлять хранение такой продукции, а также площадка или помещение для очистки техники после ее контакта с генно-инженерными организмами.

Организация или индивидуальный предприниматель, осуществляющие испытания генно-инженерных организмов на испытательном полигоне, должны контролировать эффективность мер защиты и соблюдать технику безопасности работ с генно-инженерными организмами. Они несут полную ответственность за нарушение безопасности генно-инженерной деятельности.

ЛЕКЦИЯ 6

ГМО И ОБЕСПЕЧЕНИЕ БИОБЕЗОПАСНОСТИ

ВОПРОСЫ

1. Картахенский протокол по биобезопасности

2. Законодательство стран ЕС и СНГ в области биобезопасности

1. Картахенский протокол по биобезопасности

Необходимость в международном масштабе регулировать деятельность, связанную с современной биотехнологией и её потенциальным воздействием на окружающую среду и здоровье человека, государства члены ООН признали на конференции в Рио-де-Жанейро в 1992 году. На ней 193 государства (плюс Европейское Содружество в целом как отдельный участник конференции) подписали ***Конвенцию по биоразнообразию***, *основной цель является сохранение биологического разнообразия, устойчивое использование его составляющих и справедливый раздел прибыли, полученной в результате использования генетических ресурсов нашей планеты*.

При создании Конвенции государства её члены признали, что биотехнология может содействовать достижению целей Конвенции в случае, если она будут развиваться и применяться при наличии соответствующих мер безопасности в интересах сохранения окружающей среды и здоровья человека. Стороны-участницы договорились о разра-

ботке международного соглашения о мерах и процедурах, необходимых для безопасного перемещения, переработки и применения продуктов современной биотехнологии. Этим соглашением стал Картахенский Протокол по биобезопасности принятый в 1999 г. на конференции в колумбийском городе Картахена-де-Индиас. Из-за разногласий сторон окончательный вариант Протокола по биобезопасности был принят в 2000 г. в Монреале.

На 1 января 2017 года, Протокол ратифицировало 170 государство. Республика Молдова ратифицировала настоящий Протокол 4 марта 2003 года.

В Протоколе нашёл своё отражение и получил дальнейшее развитие применительно к ГМО Принцип предосторожности (Принцип 15 Декларации Рио по окружающей среде и развитию):

- *"Принцип предосторожности должен быть широко применим странами в соответствии с их возможностями. Недостаток абсолютной научной обоснованности не должен быть причиной задержки действий по предотвращению возможных рисков и необратимой деградации окружающей среды"*.

Протокол рассматривает такие вопросы как трансграничное перемещение, транзит, обработка и использование всех живых измененных организмов (ЖИО или ГМО), которые могут оказывать неблагоприятное воздействие на сохранение и устойчивое использование биологического разнообразия, с учетом также риска для здоровья человека.

Протокол содействует биобезопасности посредством создания правил и процедур по безопасной передаче, обработке и использованию ГМО, особо фокусируясь на трансграничных перемещениях ГМО. Он предусматривает ряд процедур, включая таковую для ГМО, предназначенных для намеренной интродукции в окружающую среду, и процедуру для ГМО, предназначенных для непосредственного использования в пищу или в качестве корма, либо для обработки. Стороны Протокола должны гарантировать, чтобы ГМО обрабатывались, упаковывались и перевозились с соблюдением условий безопасности.

Настоящий Протокол учреждает Механизм посредничества по биобезопасности в качестве части механизма посредничества Конвенции для содействия обмену научной, технической, природоохранной и юридической информацией и опытом в отношении генетически модифицированных организмов; а также оказания содействия Сторонам в реализации Протокола.

Протокол содействует международному сотрудничеству в целях помощи развивающимся странам и странам с переходной экономикой в вопросах развития людских ресурсов и организационного потенциала в области биобезопасности. Стороны поощряются к оказанию помощи в научно-технической подготовке кадров и к оказанию содействия в передаче технологий, ноу-хау и привлечении финансовых ресурсов. От Сторон также ожидается, что они будут содействовать привлечению частного сектора к процессу создания потенциала.

Протокол требует, чтобы Стороны содействовали и способствовали, самостоятельно или, сотрудничая с другими государствами, и международными организациями, осведомлению общественности, её образованию и участию в мероприятиях, связанных с Протоколом, и обеспечивали доступ общественности к информации о ГМО, которые могут быть импортированы. В соответствии со своим законодательством, Стороны-участницы Протокола консультируются с общественностью в процессе принятия решения по ГМО, представляют общественности результаты таких решений, и информируют о возможности доступа к Механизму посредничества по биобезопасности.

Для оказания странам поддержки в удовлетворении своих потребностей, касающихся создания потенциала, в рамках Протокола по биобезопасности был реализован ряд инициатив на различных уровнях. На глобальном уровне в 2001 г. Межправительственный комитет Картахенского протокола по биобезопасности разработал «План действий по созданию потенциала в целях эффективной реализации Протокола», который являет собой структуру для оказания помощи правительствам и организациям в рассмотрении наилучшим образом приоритетных элементов для создания потенциала на стратегической, систематической и комплексной основе.

Для согласованной и комплексной реализации Плана действий и обеспечения взаимной поддержки друг друга различными инициативами был разработан Механизм координации. В рамках Механизма посредничества по биобезопасности создана база данных для обмена информацией по текущей деятельности, выявления пробелов и улучшения целенаправленного распределения ресурсов и возможностей с тем, чтобы страны могли удовлетворять свои потребности и определять приоритеты.

Далее, создан реестр экспертов в целях предоставления консультаций и иной поддержки надлежащим образом, и после получения запроса Сторонам, являющимся развивающимися странами и странами с переходной экономикой, для проведения оценки риска, принятия научно обоснованных решений, развития национальных человеческих ресурсов и содействия в укреплении организационного потенциала, связанного с трансграничным перемещением живых измененных организмов.

Правительства и организации развитых стран также инициировали ряд мероприятий по созданию потенциала, проектов и программ, связанных с биобезопасностью. Примером такой инициативы является глобальный проект ЮНЕП/ГЭФ «Создание национальных структур по биобезопасности», предназначенный в помощь развивающимся странам для создания национальных регламентационных и административных систем по биобезопасности, систем принятия решений, включая оценку риска, а также механизмов для привлечения общественности. Существует также много иных инициатив различного

масштаба, которые поддерживаются другими донорами и организациями. Более шестидесяти таких инициатив зарегистрировано в базе данных проекта.

Будучи Стороной настоящего Протокола, страна получает ряд следующих преимуществ:

- возможность влиять на выполнение Протокола и его дальнейшую доработку посредством участия в процессах принятия решений Конференцией Сторон, выступающей в качестве совещания Сторон настоящего Протокола;
- для Сторон, являющихся развивающимися странами или странами с переходной экономикой, существует возможность финансовой поддержки, оказываемой Глобальным экологическим фондом (финансовый механизм Протокола) в целях создания потенциала, а также возможность прочей поддержки в реализации настоящего Протокола и участии в его процессах;
- повышение надежности и реалистичности национальных систем регулирования биобезопасности в рамках мирового сообщества;
- содействие в согласовании правил, процедур и различных видов практики управления трансграничными перемещениями ГМО;
- упрощение механизмов и облегчение возможностей для правительств сотрудничать с другими правительствами, частным сектором и гражданским обществом в интересах укрепления биобезопасности;
- упрощение доступа к соответствующим технологиям и данным, возможность регулярного обмена информацией и экспертизой, а также
- демонстрация обязательств в отношении сохранения и устойчивого использования биологического разнообразия посредством выполнения мер по биобезопасности.

2. Законодательство стран ЕС и СНГ в области биобезопасности

Для стран ЕС нетипичны многие сельскохозяйственные культуры (соя, кукуруза, канола, хлопок) и площади, засеянные этими, не трансгенными культурами, составляют от 0,5% (соя) до 3% (кукуруза), в то время как именно они занимают >90% всех посевов ГМ-растений в мире. Введение в оборот нового ГМ-растения осуществляется поэтапно: сначала растение проходит испытания в лаборатории или в теплицах (с присвоением идентификационного номера), и затем, с учетом накопленного опыта – полевые испытания, сроки проведения которых ограничены так же, как и площадь опытных полей.

Перед каждым выпуском ГМО в окружающую среду должно быть получено разрешение органов власти, осуществляющих контроль над соблюдением предусмотренных мер безопасности.

В ЕС для этого задействованы специальные компетентные ведомства. Так, в Германии этими вопросами занимается Федеральное ведомство по защите прав потребителей и безопасности продуктов пита-

ния, причем в выдаче разрешения на использование ГМО принимают участие: Федеральное ведомство по охране природы, Федеральный институт по оценке риска, Институт Роберта Коха, а также Федеральный биологический научно-исследовательский центр сельского и лесного хозяйства.

Непосредственно оценку возможного риска для людей, животных и окружающей среды дают компетентные экспертные комиссии (советы) по биобезопасности. В частности, Центральная Комиссия по биобезопасности Германии состоит из экспертов в области микробиологии, токсикологии, генетики, растениеводства и экологии, а также специалистов в сфере экономики, сельского хозяйства, охраны окружающей среды, охраны природы, защиты прав потребителей и организаций, финансирующих исследования. Подобный состав комиссий по оценке риска при национальных органах в ЕС обеспечивает участие всех общественных групп; во внимание принимаются также выводы ученых, скептически относящихся к генной инженерии. В любом случае, компетентные организации и общественность должны в ходе тщательных экспертиз получать доказательства допустимости приемлемых рисков (прямых и опосредованных, немедленных и отдаленных) или их отсутствия (одновременно разрабатываются и меры ликвидации негативных сценариев с высвобождением ЖИО/ГМО - живых (генетически) измененных организмов). Если ни при одном из испытаний ЖИО не будет выявлено возможность недопустимых рисков, может быть подано заявление на выдачу разрешения на введение ГМ-растений в оборот.

Разрешенные для использования трансгенные растения вносятся в общедоступный реестр, в том числе публикуемый на специальных сайтах Интернета (напр., www.transgen.de). В качестве дальнейшего обеспечения безопасности продолжительность действия разрешения на введение в оборот ограничивается сроком до 10 лет. По истечении этого срока разрешение может быть продлено, но при этом вновь проводится проверка наличия всех необходимых предпосылок для разрешения с учетом новых научно обоснованных данных. С каждым заявлением предоставляется план наблюдения с целью обнаружения ранее неизвестных воздействий на человека и окружающую среду в период срока действия разрешения. В случае появления опасений в отношении безопасности, разрешение на использование растения может быть в любое время аннулировано. Таким образом, создаются все гарантии, что ЖИО и произведенные из них продукты, представляющие опасность для здоровья, не попадут в окружающую среду или продовольственные магазины.

По аналогичному пути идут и страны СНГ. Например, состав Национальной комиссии по биобезопасности Молдовы утверждается Постановлением Правительства (первое – № 603 от 20 мая 2003 г.). Комиссия назначается сроком на 5 лет и функционирует как межведомственный орган, состоящий из 13 человек: председателя, секретаря, четырех ученых от Академии наук Молдовы, трех членов от

других научных и университетских учреждений биологического или медицинского профиля, по одному представителю от центральных органов экономики и здравоохранения и одного специалиста от неправительственных организаций, деятельность которых связана с охраной окружающей среды. Членство в комиссии несовместимо с трудовыми отношениями (юридическими и физическими), связанными с производством и реализацией ГМО.

Национальный комитет по биобезопасности имеет право и функцию принимать решения и разрешать деятельность, связанную с использованием ГМО. Положение о выдаче разрешений на виды деятельности, связанные с испытанием, производством, использованием и реализацией генетически модифицированных организмов было принято правительством в качестве руководства по внедрению национального закона о биобезопасности. Этот закон и Положение конкретизирует правила использования ГМО в замкнутых системах, выпуске в окружающую среду и размещении их на рынке, а также импорт и экспорт ГМО.

Национальный центр по тестированию был создан совместным решением Министерства экологии и природных ресурсов и Министерства образования. В его компетенцию входит определение ГМО в образцах, при необходимости – проведение дополнительных тестов на биобезопасность и оценка рисков от ГМО для окружающей среды и здоровья человека.

Основным законом, обеспечивающим биологическую безопасность в Молдове, является закон «О биологической безопасности» (2001). Этот закон дает понятие биобезопасности, государственные структуры, ответственные за ее внедрение, определяет, что для ввоза в страну любого ГМО требуется разрешение Национальной комиссии по биобезопасности, которая рассматривает заявления и в зависимости от уровня риска разрешает или запрещает ввоз. Импорт может осуществляться для различных целей и в зависимости от них использование ГМО может квалифицироваться как *размещение на рынке* (например, ввоз и продажа семян третьим лицам для изготовления муки или посадки – в обоих этих случаях контроль за ГМО при продаже теряется), *помещение в окружающую среду* (например, импорт семян тем лицом, которое намерено засеять ими поля), либо *использование в замкнутых условиях* (например, импорт пивных дрожжей при условии, что они будут использоваться в замкнутых производственных установках и не попадут в окружающую среду).

Закон определяет, что общественность должна информироваться о заявках на импорт ГМО и имеет право направлять свои аргументы в отношении проекта предлагаемого Национальной комиссией по биобезопасности решении.

Правила оценки рисков, связанных с использованием ГМО, утверждены Постановлением Правительства «Об утверждении Положения о выдаче разрешений на виды деятельности, связанные с испытанием,

производством, использованием и реализацией генетически модифицированных организмов» № 1153 от 25.09.2003 г., в котором подробно описаны процедуры оценки безопасности ГМО. Это документ подробно описывает, как следует поступать инициаторам деятельности в сфере биобезопасности, включая импорт ГМО, их размещение на рынке и в окружающую среду, для научных исследований и использования в замкнутых установках.

Проверка генетически модифицированных организмов в России осуществляется Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор), которая была образована в соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 9 марта 2004 г. № 314. В разных городах России были созданы лаборатории с использованием полимеразной цепной реакции (ПЦР) для выявления ГМ-компонентов в продуктах питания.

Действующая в России система оценки безопасности ГМО требует проведения более широкого спектра исследований, чем в других странах (США, Евросоюз) и включает в себя длительные токсикологические исследования на животных – 180 дней (Евросоюз – 90 дней), а также применение современных методов анализа, таких как, определение генотоксичности, геномный и протеомный анализы, оценка аллергенности на модельных системах и многое другое, что является дополнительным фактором, гарантирующим безопасность регистрируемых пищевых продуктов, полученных из ГМО. Эти многоплановые исследования осуществляются в целом ряде ведущих научно-исследовательских учреждений системы Роспотребнадзора, РАМН, РАН, РАСХН и Минобрнауки России.

В соответствии с законодательством Российской Федерации (Федеральные законы от 05.07.1996 № 86-ФЗ «О государственном регулировании в области генно-инженерной деятельности», от 02.01.2000 № 29-ФЗ «О качестве и безопасности пищевых продуктов» и от 30.03.1999 № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения») пищевая продукция из ГМО относится к категории «новой пищи» и подлежит обязательной оценке на безопасность и последующему мониторингу за оборотом.

Согласно письму Роспотребнадзора от 24.01.2006 № 0100/446-06-32 содержание в пищевых продуктах 0,9 % и менее компонентов, полученных с применением ГМО, является случайной или технически неустранимой примесью и пищевые продукты, содержащие указанное количество компонентов ГМО, не относятся к категории пищевых продуктов, содержащих компоненты, полученные с применением ГМО, и не подлежат этикетированию.

В Республике Беларусь Постановлением № 52 Минприроды от 17 августа 2006 г. определяется, что экспертный совет по биобезопасности является коллегиальным органом и состоит из председателя, его заместителей, секретаря, членов этого совета из числа должностных лиц Минприроды, уполномоченных лиц других республиканских орга-

нов государственного управления, ученых и специалистов в области ГИД (граждан Беларуси). Персональный состав экспертного совета утверждается приказом Минприроды. Некоторые различия в законодательствах стран Европы касаются допуска к использованию ЖИО. В то время как в РБ осуществляется общая система государственного учета трансгенных сортов растений, пород животных и штаммов микроорганизмов, в Российской Федерации и ЕС практикуются два вида госрегистрации трансгенных событий ЖИО: 1) для выращивания с целью производства промышленной продукции; 2) для использования в качестве продуктов питания, кормов и для переработки. Особая тема – обеспечение безопасности и качества продовольственного сырья и продуктов питания, производимых с использованием ГМ-сырья (таблица 1).

В ЕС для обеспечения безопасности продуктов питания и кормов из ЖИО проводятся строгий контроль и исследования в соответствии с существующими законодательными актами (Директивами ЕС). Свободный выбор потребителей обеспечивается благодаря маркировке продуктов питания, ингредиентов и добавок, изготовленных из ЖИО или содержащих их компоненты. Международно-признанные принципы анализа рисков продуктов из ГМО и специальные положения по проведению оценки безопасности трансгенных растений и микроорганизмов разработаны так называемым Продовольственным кодексом (Codex Alimentarius). Речь идет о маркировке в процессе производства (напр., «содержит ГМО-компоненты» или «не содержит компоненты»), дающей информацию о применении ГИД независимо от вещественного состава сходных продуктов питания (состав бывает одинаков).

Таблица 1. **Сравнительный анализ регламентации в разных странах маркировки продукции содержащей ЖИО/ГМО**

ЕС, СНГ, Россия, Молдова	После экспертизы маркируются только те продукты (корма), в которых содержится более чем 0,9% ингредиентов из ЖИО/ГМО
Беларусь	Ведется регламентная предварительная экспертиза и соответствующей маркировке подлежат все продукты, содержащие ингредиенты ЖИО/ГМО, независимо от их концентрации
США	Специального маркирования продуктов питания из ЖИО/ГМО (или содержащих ГМ-ингредиенты), не требуется, так как нет оснований полагать, что они существенно отличаются от традиционных, поэтому не представляют собой какие-либо новые (увеличенные) риски для здоровья потребителей. Маркировка изменяется, если в ходе экспертизы будут найдены отличительные особенности, которые надлежит указать на этикетке; если же содержание белков и ДНК ЖИО мало (от 0,1 до 0,5 %), то и такая маркировка не обязательна

Примечание: при использовании гербицид-устойчивых ГМ-растений гораздо важнее указывать остаточное содержание гербицида (или продуктов его деградации) независимо то того, есть ли в продукте ДНК (белок).

Из-за сложности оценки риска Организация экономического сотрудничества и развития (OECD) в 1993 г. сформулировала концепцию «эквивалентности по существу» (принята во всем мире), определяющую не абсолютную, а относительную величину биобезопасности ГМ-продукта (за исходный уровень биобезопасности принимается адекватная традиционному аналогу). Согласно действующим нормам ЕС для животной продукции (мяса, молока, яиц) маркировка не обязательна, если животных кормили генетически модифицированными кормами. Часто этот момент критикуется союзами по защите окружающей среды и прав потребителей как ограничение свободы выбора конечного потребителя. Однако Европа не может сохранить требуемый уровень производства мяса, молока и яиц без импорта кормов из ГМ-растений (кукуруза, рапс, соя). В результате большая часть европейской животной продукции должна была бы маркироваться как произведенная с использованием ГМ-кормов. Покупая животную продукцию, многие потребители хотели бы знать, получали ли животные ГМ-корма или нет. Поэтому, например, в Германии Федеральное министерство продовольствия, сельского хозяйства и защиты прав потребителей прилагает максимум усилий для разработки практичного и небюрократического решения в сфере маркировки всех продуктов, изготовленных с применением ГМО.

Законодательство Беларуси не запрещает использование и оборот пищевого сырья и продуктов питания, произведенных из ГМО, но в соответствии с законами республики «О качестве и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов для жизни и здоровья человека» [Национальный реестр правовых актов (НРПА). 2003, № 79, 2/966) и «О защите прав потребителей» (НРПА. 2003, № 8, 2/932) покупатель имеет право на получение информации о продуктах питания, в том числе – о содержании в них ГМО или их компонентов.

Однако в то время как в ЕС и Российской Федерации допускается отсутствие маркировки, если в продукте содержится меньше 0,9% ингредиентов из ГМО, в Республике Беларусь Постановлениями № 116 Главного государственного санитарного врача «О государственной гигиенической регламентции и регистрации продовольственного сырья и пищевых продуктов, полученных из или с использованием генетически модифицированных источников» от 2 сентября 2003 г. и № 434 Совета Министров «О некоторых вопросах информирования потребителей о продовольственном сырье и пищевых продуктах» от 28 апреля 2005 г. относительно допустимых уровней ГМО-компонентов установлена беспороговая система – маркируется всё, в чем в результате проверки обнаруживается ГМО-примесь, причем узаконена проверка (в отношении всех продуктов, содержащих сою и кукурузу), а реализация продукции, содержащей ГМО без соответствующей информации в маркировке, и использование ГМО в пищевых продуктах для детского питания запрещены. Для организации

ГМО-контроля в республике создано 15 испытательных лабораторий, из них в системе Минздрава – 6, Госстандарте – 6, НАН Беларуси – 2, Минсельхозпроде – 1. Определение ГМО растительного происхождения в продовольственном сырье и пищевых продуктах осуществляется в лабораториях по двум методам: ПЦР в реальном времени (количественное исследование) и ПЦР + иммуноферментный анализ (качественное исследование). Указанные методы имеют как общие, так и отличительные признаки, в целом же позволяют объективно и качественно проводить исследования.

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

АБОРИГЕННЫЙ *- происходящий из определенного географического района или местности и растущий или обитающий там.*

АЛЛЕРГЕННОСТЬ *- способность вызывать аллергическую реакцию.*

АЛЛЕРГИЯ *– одна из наиболее распространенных болезней, связанная с чрезмерной иммунной реакцией организма на аллергены (химические вещества, загрязняющие атмосферу, воду, пищевые продукты, а также лекарства, пыльцу растений, шерсть домашних животных и т.д.).*

АНТИБИОТИК *- химическое вещество, синтезируемое грибами или бактериями, которое убивает другие организмы или задерживает их рост.*

БЕЗОПАСНОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКАЯ (БИОБЕЗОПАСНОСТЬ) *- защищенность человека, общества и окружающей среды от негативного воздействия токсических, аллергенных, канцерогенных, мутагенных биологических веществ и соединений, содержащихся в природных или генно-модифицированных биологических объектах и полученных из них продуктах.*

БЕЗОПАСНОСТЬ ГЕНЕТИЧЕСКАЯ *– комплекс условий, позволяющих максимально эффективно реализовывать заложенный генетический потенциал живого и создание предпосылок для его дальнейшего устойчивого существования в череде будущих поколений.*

БЕЗОПАСНОСТЬ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ *- состояние обоснованной уверенности в том, что пищевые продукты при обычных условиях их использования не являются вредными и не представляют опасности для здоровья нынешнего и будущих поколений.*

БЕЗОПАСНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ И ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ – *способность государства за счёт внутренних ресурсов, удовлетворять потребности населения в сельхозпродукции и продуктах питания в объёмах, качестве и ассортименте, в соответствии с принятыми стандартами и нормами.*

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ *– генетические ресурсы, организмы или их части, популяции или любые другие биотические компоненты*

экосистем, имеющие фактическую или потенциальную полезность или ценность для человечества.

***БИОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ** - вариабельность живых организмов из всех источников, включая, среди прочего, наземные, морские и иные водные экосистемы и экологические комплексы, частью которых они являются; это понятие включает в себя разнообразие в рамках вида, между видами и разнообразие экосистем.*

***БИОТЕХНОЛОГИЯ** — любой вид технологии, связанный с использованием биологических систем, живых организмов или их производных для изготовления или изменения продуктов или процессов с целью их конкретного использования.*

***БИОТЕХНОЛОГИЯ СОВРЕМЕННАЯ** – применение: методов in vitro с использованием нуклеиновых кислот, включая рекомбинантную дезоксирибонуклеиновую кислоту (ДНК)) и прямую инъекцию кислот в клетки и органеллы; или методов, основанных на слиянии клеток организмов с разными таксономическим статусом, которые позволяют преодолеть естественные физиологические репродуктивные или рекомбинантные барьеры и которые не являются методами, традиционными для выведения и селекции.*

***БЛАГОПРИЯТНАЯ ОКРУЖАЮЩАЯ ПРИРОДНАЯ СРЕДА** - состояние окружающей природной среды, которое не оказывает негативного воздействия на здоровье и жизнедеятельность человека, животных, растений и других живых организмов.*

***БЛАГОПРИЯТНЫЕ УСЛОВИЯ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА** - состояние среды обитания, при котором отсутствует вредное воздействие ее факторов на человека (безвредные условия) и имеются возможности для восстановления нарушенных функций организма человека.*

***ВИД** - группа организмов и популяций, имеющих общие генетические и фенотипические свойства и способных к скрещиванию.*

***ВИРУЛЕНТНОСТЬ** - способность вызывать инфекцию, болезнь или токсичность.*

***ВРЕДНОЕ ВЕЩЕСТВО** - вещество, которое вызывает нарушения роста, развития или состояния здоровья организмов, а также может повлиять на эти показатели со временем, в том числе в цепи поколений.*

***ВРЕДНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЧЕЛОВЕКА** - воздействие факторов среды обитания, создающее угрозу жизни или здоровью человека либо угрозу жизни или здоровью будущих поколений.*

ВЫПУСК ГЕННО-МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОРГАНИЗМОВ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ *- действие или бездействие, в результате которых произошло внесение генно-модифицированных организмов в окружающую среду (данное понятие не применяется к деятельности, связанной с изменением наследственного генетического материала человека посредством использования методов генной инженерии для целей генной терапии (генотерапии)).*

ВЫПУСК ГЕННО-МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОРГАНИЗМОВ НА РЫНОК *- поставка генетически модифицированных организмов или производных от них продуктов за плату или бесплатно третьей стороне.*

ВЫПУСК ГМО В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ НАМЕРЕННЫЙ *– означает любую намеренную интродукцию в окружающую среду ГМО или комбинации ГМО, для которой не используются какие-либо меры сдерживания для ограничения их контакта с населением в целом и окружающей средой и для обеспечения высокой степени их безопасности.*

ГЕН *– участок молекулы ДНК, содержащий информацию о первичной структуре одного белка или молекулы рРНК и тРНК.*

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ *– программа свойств организма, получаемая от предков и заложенная в наследственных структурах в виде генетического кода. Генетическая информация определяет морфологическое строение, рост, развитие, обмен веществ, психический склад, предрасположенность к заболеваниям и генетические пороки организма.*

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ *– процесс заранее определенного неполового переноса генов.*

ГЕНЕТИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННЫЕ МИКРООРГАНИЗМЫ (ГММ) *- микроорганизмы (бактерии, дрожжи и др.), в которых генетический материал (дезоксирибонуклеиновая кислота) изменен с использованием методов генной инженерии.*

ГЕНЕТИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ПИЩЕВЫЕ ПРОДУКТЫ *- пищевые продукты, ингредиенты и пищевые добавки, полученные с применением технологий рекомбинантных ДНК.*

ГЕНЕТИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ОРГАНИЗМЫ (ГЕНЕТИЧЕСКИ ИЗМЕНЕННЫЕ ОРГАНИЗМЫ) *– организмы, любые неклеточные, одноклеточные или многоклеточные образования, способные к воспроизводству или передаче наследственного генетического материала, отличные от природных организмов, полученные с приме-*

нением методов генной инженерии и содержащие генно-инженерный материал, в т.ч. гены, их фрагменты, или комбинацию генов.

***ГЕНЕТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ** - любой материал растительного, животного, микробного или иного происхождения, содержащий функциональные единицы наследственности.*

***ГЕНЕТИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ** - разбавление популяции новыми или промежуточными генотипами того же вида или гибридных производных от особей этого вида с последующим изменением генетической структуры.*

***ГЕННАЯ ИНЖЕНЕРИЯ** - совокупность методов и технологий, в том числе технологий получения рекомбинантных рибонуклеиновых и дезоксирибонуклеиновых кислот, по выделению генов из организма, осуществлению манипуляций с генами и введению их в другие организмы.*

***ГЕННАЯ ТЕРАПИЯ (ГЕНОТЕРАПИЯ)** - совокупность генно-инженерных (биотехнологических) и медицинских методов, направленных на внесение изменений в генетический аппарат соматических клеток человека в целях лечения заболеваний.*

***ГЕННО-ИНЖЕНЕРНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ** - деятельность, осуществляемая с использованием методов генной инженерии и генетически модифицированных организмов.*

***ГЕНОДИАГНОСТИКА** - совокупность методов по выявлению изменений в структуре генома.*

***ГЕНОМ** - генетическая структура организма; полный набор хромосом и соответствующих генов.*

***ГЕРБИЦИДЫ** — химические препараты, используемые для контроля плотности популяций сорных растений.*

***ДНК (ДЕЗОКСИРИБОНУКЛЕИНОВАЯ КИСЛОТА)** - генетический материал, который обусловливает все наследственные признаки организма. ДНК представляет собой молекулу, состоящую из двух спирально закрученных цепей, образованных из сахаров (дезоксирибозы) и фосфатных групп. Четыре азотистых основания (аденин, тимин, гуанин и цитозин) соединяют две цепи молекулы. У некоторых вирусов носителем генетической информации служит рибонуклеиновая кислота (РНК).*

***ДОБАВКИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ** - природные (идентичные природным) биологически активные вещества, предназначенные для*

употребления одновременно с пищей или введения в состав пищевых продуктов.

***ИМПОРТ ГМО** - преднамеренный ввоз с территории одного государства на территорию другого государства генетически модифицированных организмов, комбинаций таких организмов и/или производных от них продуктов.*

***ИМПОРТЕР ГМО** - физическое или юридическое лицо, находящееся под юрисдикцией государства, осуществляющего импорт, которое организует и несет ответственность за импорт генетически модифицированных организмов, комбинаций таких организмов и/или производных от них продуктов.*

***ИНСЕКТИЦИДЫ** – химические препараты, используемые для контроля плотности популяций насекомых-вредителей в сельском и лесном хозяйстве.*

***ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОРГАНИЗМОВ** - деятельность или совокупность видов деятельности, имеющих целью получение и выпуск на рынок генетически модифицированных организмов и производных от них продуктов, в том числе исследование, испытание и промышленное производство.*

***ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОРГАНИЗМОВ В ЗАМКНУТЫХ СИСТЕМАХ** – определяется как любая деятельность, осуществляемая в пределах какого-либо предприятия, установки или иного физического объекта, связанная с генетическим изменением организмов, в отношении которых используются конкретные меры сдерживания, эффективно ограничивающие их контакт с окружающей средой и их воздействие на нее.*

***КЛОНИРОВАНИЕ** - получение многочисленных идентичных копий части молекулы ДНК посредством молекулярных методов биотехнологии; или получение многочисленных идентичных копий целого организма посредством естественной неполовой репродукции или с помощью методов ядерной трансплантации.*

***МАРКЕР ГЕНЕТИЧЕСКИЙ** - признак микробной клетки (устойчивость к антибиотикам или другим ингибиторам, зависимость от определенного метаболита и др.), используемый в качестве метки при изучении генетических процессов.*

***МЕЖВИДОВАЯ ГИБРИДИЗАЦИЯ** – спаривание (я) особей разных видов, в результате которого (ых) получается жизнеспособное потомство.*

МЕЖВИДОВОЙ ГИБРИД *- организм, полученный при спаривании особей разных видов.*

МЕТАБОЛИЗМ *- физиологический процесс, который позволяет организмам получать энергию и вещества, необходимые для развития, роста и воспроизведения.*

МИКРООРГАНИЗМ *- любое микробное существо, клеточное или неклеточное образование, способное к передаче или репликации генетического материала, включая вирусы, клетки животных и растений в культуре.*

МУТАЦИЯ *- структурное изменение в гене или хромосоме, которое изменяет генотип, а, возможно, и фенотип организма.*

НЕГАТИВНОЕ (ВРЕДНОЕ) ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ ПРИРОДНУЮ СРЕДУ *- воздействие хозяйственной и иной деятельности, последствия которой приводят к отрицательным изменениям состояния окружающей природной среды.*

НЕПРЕДНАМЕРЕННОЕ ВНЕСЕНИЕ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ (В СВЯЗИ С ГМО) *- любой случай выпуска в окружающую среду генетически модифицированных организмов или их комбинаций, не являющийся результатом преднамеренного выпуска.*

НЕПРЕДНАМЕРЕННОЕ ТРАНСГРАНИЧНОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ (В СВЯЗИ С ГМО) *- любое неумышленное перемещение через границу генетически модифицированных организмов или их комбинаций, последствия, которого должны быть оценены с точки зрения биологической безопасности и безопасности для здоровья людей с принятием соответствующих мер.*

НЕЦЕЛЕВОЙ ОРГАНИЗМ *- организм, на который не предусматривается распространение влияния процесса, метода или события.*

НУКЛЕОТИД *- структурная единица ДНК или РНК.*

ОРГАНЕЛЛА *- внутренняя структура эукариотической клетки, обеспечивающая выполнение специфических функций; примерами органелл могут служить ядро, митохондрии и хлоропласты.*

ОРГАНИЗМ *– любая форма биологического существования (включая стерильные организмы, вирусы и вироиды), способная к самовоспроизведению или передаче наследственных факторов;*

ОЦЕНКА РИСКОВ *(в связи с ГМО) - оценка прямых или косвенных незамедлительных или отдаленных последствий внесения в окружающую*

среду генетически модифицированных организмов или их составных частей для здоровья людей и окружающей среды.

***ПЕСТИЦИДЫ (П.)** — разнообразные химические соединения, которые используются для защиты растений. Широкое распространение сегодня имеют около 700 видов П. Различают следующие П.: инсектициды, уничтожающие насекомых; акарициды, уничтожающие клещей; нематоциды, уничтожающие круглых червей; фунгициды, уничтожающие паразитические грибы; оактериоциды, уничтожающие бактерии; вирусоциды, уничтожающие вирусы; зооциды, уничтожающие позвоночных животных-вредителей; моллюскоциды, уничтожающие моллюсков; альгициды, уничтожающие водоросли; гербициды, уничтожающие сорные растения; арборициды, уничтожающие древесную и кустарниковую растительность.*

***ПИЩЕВЫЕ ДОБАВКИ** - природные или искусственные вещества и их соединения, специально вводимые в пищевые продукты в процессе их изготовления в целях придания пищевым продуктам определенных свойств и (или) сохранения качества пищевых продуктов.*

***ПИЩЕВЫЕ ПРОДУКТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ ИЗ/ИЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГММ** - продукты в натуральном или переработанном виде, употребляемые человеком в пищу (в т.ч. продукты детского питания, продукты диетического питания), алкогольная продукция (в т.ч. пиво), безалкогольные напитки, а также продовольственное сырье, пищевые добавки и биологически активные добавки, полученные с использованием или содержащие ГММ.*

***ПИЩЕВЫЕ ПРОДУКТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ ИЗ/ИЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРООРГАНИЗМОВ, ИМЕЮЩИХ ГЕНЕТИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННЫЕ АНАЛОГИ (МГМА**) - продукты в натуральном или переработанном виде, употребляемые человеком в пищу (в т.ч. продукты детского питания, продукты диетического питания), алкогольная продукция (в т.ч. пиво), безалкогольные напитки, а также продовольственное сырье, пищевые добавки и биологически активные добавки, полученные с использованием или содержащие микроорганизмы, имеющие генетически модифицированные аналоги.*

***ПЛАЗМИДА** - небольшая кольцевая молекула ДНК, в которой может находиться ряд различных генов. Плазмиды были обнаружены в бактериях, хотя на сегодняшний день существует множество искусственно созданных плазмид. Некоторые плазмиды способны передаваться от одной бактериальной клетки к другой, а также могут обусловливать передачу между клетками других плазмид, не являющихся трансмиссивными.*

ПЛЕЙОТРОПНОСТЬ *- явление, при котором один ген отвечает за множество различных, по-видимому, несвязанных между собой фенотипических проявлений.*

ПОЛЕВОЕ ИСПЫТАНИЕ (В СВЯЗИ С ГМО) *- эксперимент, состоящий в изучении генетически модифицированных организмов в полевых условиях, находящихся под контролем, при наличии уверенности, что эти организмы не сохранятся в среде после окончания эксперимента.*

ПРЕДНАМЕРЕННОЕ ВНЕСЕНИЕ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ (В СВЯЗИ С ГМО) *- умышленный выпуск в окружающую среду генетически модифицированных организмов или их комбинаций, которые не требуют принятия специфических мер изолирования и отличаются высоким уровнем безопасности для людей и окружающей среды.*

ПРЕДНАМЕРЕННОЕ ТРАНСГРАНИЧНОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ (В СВЯЗИ С ГМО) *- любая экспортно-импортная операция с генетически модифицированными организмами или их комбинациями, осуществляемая с разрешения компетентных национальных органов в соответствии с национальными и международными правилами.*

РЕКОМБИНАНТНАЯ ДНК *- молекула ДНК, полученная в результате объединения in vitro чужеродных (в природе никогда вместе не существующих) фрагментов ДНК с использованием методов генной инженерии.*

РЕКОМБИНАНТНЫЙ БЕЛОК *- продукт экспрессии рекомбинантного гена (целевого гена).*

РЕКОМБИНАЦИЯ ГЕНОВ *- процесс генетического обмена (в т.ч. методами генной инженерии) между двумя клетками, отличающимися между собой одним или несколькими генетическими маркерами.*

РЕСУРСЫ БИОЛОГИЧЕСКИЕ *– источники и предпосылки получения необходимых людям материальных и духовных благ, заключенные в объектах живой природы. Различают растительные ресурсы, ресурсы животного мира, генетические ресурсы.*

РЕСУРСЫ ГЕНЕТИЧЕСКИЕ *– наследственная генетическая информация, заключенная в генетическом коде живых существ.*

РИСК *- вероятность наступления конкретной опасности (или нескольких опасностей).*

РИСК ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ *— вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для жизнедеятельности*

человека, животных, растений и других живых организмов, вызванного негативным воздействием хозяйственной и иной деятельности на окружающую природную среду.

***РИСКА УРОВЕНЬ (В СВЯЗИ С ГМО**) – научно обоснованная достоверность возникновения потенциального влияния на здоровье человека и окружающую среду при осуществлении генно-инженерной деятельности.*

РНК - рибонуклеиновая кислота.

***СИСТЕМА ЗАМКНУТАЯ (В СВЯЗИ С ГМО)** - система осуществления генно-инженерной деятельности, при которой генетические модификации вносятся в организм или генно-модифицированные организмы, обрабатываются, культивируются, хранятся, используются, подвергаются транспортировке, уничтожению или захоронению в условиях существования физических, химических и биологических барьеров или их комбинаций, предотвращающих контакт генно-модифицированных организмов с населением и окружающей средой.*

***СИСТЕМА ОТКРЫТАЯ (в связи с ГМО)** – система осуществления генетически- инженерной деятельности, предполагающая контакт ГМО с населением и окружающей средой при запланированном высвобождении их в окружающую среду применении в сельскохозяйственной практике, промышленности, медицине, и в природоохранных целях, передаче технологий и других сферах обращения ГМО;*

***СТЕРИЛЬНОСТЬ** - неспособность к размножению половым путем.*

***ТОКСИН** - химическое вещество, ядовитое для некоторых организмов.*

***ТОКСИЧНОСТЬ** – ядовитость, способность вещества наносить вред организмам, а также здоровью человека. Оценка токсичности лежит в основе классификации загрязняющих веществ по вредности.*

***ТРАНСГЕН -** чужеродная ДНК, внесенная в геном путем искусственных операций.*

***ТРАНСГРАНИЧНАЯ ПЕРЕВОЗКА** — любое перемещение опасных или других отходов из района, находящегося под национальной юрисдикцией одного государства, в район или через район, находящийся под национальной юрисдикцией другого государства, либо в район или через район, не находящийся под национальной юрисдикцией какого-либо государства, при условии, что такая перевозка затрагивает по крайней мере два государства.*

ТРАНСГРАНИЧНОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОРГАНИЗМОВ *– любое перемещение генетически модифицированных организмов или комбинаций таких организмов, а также производных от них продуктов с территории одного государства на территорию другого государства.*

ТРАНСГРАНИЧНОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ НЕПРЕДНАМЕРЕННОЕ (В СВЯЗИ С ГМО) *– любое неумышленное перемещение через границу генетически модифицированных организмов или их комбинаций, последствия, которого должны быть оценены с точки зрения биологической безопасности и безопасности для здоровья людей с принятием соответствующих мер.*

ТРАНСГРАНИЧНОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ПРЕДНАМЕРЕННОЕ (В СВЯЗИ С ГМО) *– любая экспортно-импортная операция с генетически модифицированными организмами или их комбинациями, осуществляемая с разрешения компетентных национальных органов в соответствии с национальными и международными правилами.*

ТРАНСФОРМАЦИЯ *- форма переноса генов, например, у бактерий; этот процесс происходит в естественных условиях и используется в генной инженерии. В ходе трансформации одна бактериальная клетка копирует свою ДНК и выбрасывает копию в окружающую среду либо клетка гибнет, а ее ДНК выходит в окружающую среду. Другая клетка поглощает такую свободную ДНК и с определенной частотой заменяет ею участок своей хромосомной ДНК. Если в результате такого процесса клетка получает различные (вариантные) формы генов, то клетка-реципиент считается трансформированной. В качестве примера можно привести замену гена устойчивости к антибиотику на ген чувствительности к нему.*

УСТОЙЧИВОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ *- использование компонентов природного разнообразия таким образом и такими темпами, которые не приводят в долгосрочной перспективе к истощению биологического разнообразия, тем самым сохраняя его способность удовлетворять потребности нынешнего и будущего поколений и отвечать их чаяниям.*

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ *- длительный и непрерывный процесс удовлетворения общественных потребностей на основе такого уровня и темпов развития экономики, которые не влекут за собой необратимых экологических последствий.*

ФЕНОТИП *- наблюдаемые физические или биохимические признаки организма, обусловленные как его генетической структурой, так и воздействием окружающей среды.*

ФЕРМЕНТЫ РЕСТРИКЦИИ *- встречающиеся в естественных условиях ферменты, расщепляющие молекулы ДНК в специфичных сайтах на короткие фрагменты.*

ЦЕЛЕВОЙ ГЕН *- ген, который используется для генно-инженерной модификации микроорганизма с целью изменения его свойств, в т.ч. нуклеотидная последовательность рекомбинантной ДНК конкретного ГММ.*

ЦЕЛЬ (ЦЕЛЕВОЙ ОРГАНИЗМ) *- организм, на который предусматривается влияние процесса, метода или события.*

ЭКОСИСТЕМА *- динамичный комплекс сообществ растений, животных и микроорганизмов, а также их неживой окружающей среды, взаимодействующих как единое функциональное целое.*

ЛИТЕРАТУРА

1. ГМО и проблемы биобезопасности. Учебно-методическое пособие. / С. Е. Дромашко [и др.]. – Минск: Ин-т подгот. на-уч. кадров Нац. акад. наук Беларуси, 2011. – 70 с.

2. ГМО: контроль над обществом или общественный контроль// М.: Э.К. «Эремурус», Альянс СНГ «За биобезопасность», 2005. – С. 198.

3. Жученко А.А. Роль генетической инженерии в адаптивной системе селекции растений // М.: Сельскохозяйственная биология, 2003, №1. – С. 3-33.

4. Зоны, свободные от ГМО, под редакцией В.Б. Копейкиной // М.: Геос, 2007.- С.106

5. Ермишин А.П. Генетически модифицированные организмы: мифы и реальность // Минск: Технология, 2004. – С. 116.

6. Картахенский протокол по биобезопасности к Конвенции о биологическом разнообразии // http://www.biodiv.org

7. Кузнецов В.В., Куликов А.М., Митрохин И.А., Цыдендамбаев В.Д. Генетически модифицированные организмы и биологическая безопасность // М.: ЭКОСинформ, 2004, №10. – С. 60.

8. Куликов А.М. ГМО и риски их использования // Материалы к докладу Президенту РФ, М.: 2004. – С. 46-71.

9. Перелет Р.А. Замечания по экономическим аспектам распространения ГМО // Материалы к докладу Президенту РФ, М.: 2004. – С. 111-116.

10. Перелет Р.А. Экономические аспекты генетически модифицированной сельскохозяйственной продукции // Аналитический материал, декабрь 2005. – С. 9.

11. Сельское хозяйство и пищевые продукты: кому выгодны ГМ-культуры? // Анализ глобальных показателей эффективности ГМ-культур за 1996-2006гг. / Friends of Earth International, январь 2007 г. – С. 32.

12. Что такое ГМО и для чего их получают? // ГМО – зона повышенного риска./ Фонд интеграции экологической культуры, Алматы, 2003. – С. 52.

13. Шаршенова А.А. Ситуация с ГМО в сфере медицины//Кыргызская Республика: Инф. Бюлл. «Проблемы биобезопасности и генная инженерия, 2004, №2. – С. 28-35.

14. Global Status of Commercialized Biotech / GM Crops: 2016 // http://www.isaaa.org

Методическое пособие

ГЕНЕТИЧЕСКИ-МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ОРГАНИЗМЫ
И БИОБЕЗОПАСНОСТЬ

Курс лекций для студентов биологических специальностей

Формат 60x90/16. Тираж 100 экз. Уч.-изд. л. 5,5.

Отпечатано в типографии ООО «Ремонт вычислительной техники»
3200, г. Бендеры, ул. Калинина, 43/3.