

## **Возможны неблагоприятные эффекты ГИО на окружающую среду и пути их предотвращения**

Современное состояние молекулярно-биологических и генно-инженерных исследований в наибольшей степени способствует сегодня созданию новых ГИО на основе сельскохозяйственных растений. Мы наблюдаем ускоренную коммерциализацию этого процесса, широкое и быстрое распространение растительных ГИО на посевных и других, используемых человеком площадях во всем мире. Именно по поводу растительных ГИО чаще всего возникают споры о целесообразности использования генно-инженерных организмов, хотя исторически первыми объектами генной инженерии были микроорганизмы. Микробиологические ГМО привлекают меньше внимания, так как к настоящему времени для них уже разработана и существует эффективная защита от вероятных утечек в окружающую среду способных негативно влиять на здоровье человека и экологические системы и они редко бывают объектами непосредственного рыночного использования. Масштабные работы по трансгенезу животных только лишь начинаются. При этом утечку животных обычно легко контролировать и предотвращать (вольерные или лабораторные условия содержания).

Сложность контроля за распространением некоторых видов растений и захватом ими новых экосистем, очевидно, являются одной из причин негативного отношения к растительным ГМО. Сложность определяется биологией размножения растений, позволяющей им вне зависимости от воли человека распространяться за пределы отведенных территорий, быстро осваивать новые пространства и экологические ниши. Вторая причина заключена в значимости растений для биотопов. Растительные сообщества – место обитания и основа пищевой пирамиды для насекомых, животных и микроорганизмов (в том числе почвообразующих). Поэтому изменения в таком сообществе чреваты изменением экосистемы в целом и могут негативно сказаться на биологическом разнообразии видов, входящих в ее состав.

**Неблагоприятные эффекты** для других растений, животных и экосистемы в целом **могут быть связаны с рядом генно-инженерных модификаций**, полезных для человека и самого растения. Это модификации, дающие растениям новые экологические преимущества, в сравнении с исходными растениями или растениями природных популяций и делающие их способными значительно превысить обычные лимиты популяционного роста (устойчивость к болезням или вредителям, абиотическим факторам среды, в том числе гербицидам). Модификации, улучшающие биохимические показатели сельскохозяйственной продукции также могут привести к нежелательному популяционному росту за счет совместного или каскадного действия генов. Опасность модификации для окружающей среды определяется также экологической нишей, в которую попадает ГМО: некоторые модификации (например, устойчивость к гербицидам) могут быть значимы только в определенных условиях, другие (например, устойчивость к вредителям) дают растениям постоянные преимущества.

Чтобы максимально избежать неблагоприятных последствий генно-инженерной модификации для окружающей среды с одной стороны и использовать ее преимущества для деятельности человека с другой, необходима **всесторонняя оценка вероятного риска**. Она включает: грамотную формулировку проблемы, то есть в чем конкретно состоит риск высвобождения ГИО; получение и анализ всей возможной информации о модифицированном организме и его возможном взаимодействии с принимающей средой; добросовестную проверку полученных данных и мониторинг за ходом эксперимента по высвобождению ГИО; принятие на основании результатов анализа системы специальных мер, которые могут исключить или минимизировать выявленные в ходе анализа вероятные риски. Соответственно информация о ГИО должна учитывать биологические особенности реципиентного организма, характер генно-инженерной модификации, биологические особенности ГИО, сведения о потенциальной принимающей среде и о взаимодействии ГИО с

окружающей средой, план по высвобождению, мониторингу, контролю, очистке территории и действий при непредвиденных обстоятельствах.

Какие же основные экологические проблемы, связаны с высвобождением растительных ГИО в окружающую среду.

**Генно-инженерная модификация может способствовать появлению новых сорняков** если она наделяет ГИО свойствами, характерными для сорняковых растений, или повышать агрессивность тех, которые уже являются потенциальными сорняками. Поэтому максимальную осторожность надо проявлять при трансгенезе видов, являющихся потенциальными сорняками или имеющих в природе родственные виды-сорняки. При этом надо учитывать, что растительные виды могут становиться сорняками, используя две стратегии. Первая – выживаемость (способность сохраняться в агросреде даже в случае направленной борьбы с ними и препятствовать росту последующих культур). Трансгенез с целью изменения времени покоя семян и характеристик их прорастания, ускорения роста вегетативной массы растения, придания устойчивости к различным стрессам или способности подавлять рост соседних растений, может способствовать повышению выживаемости потенциальных сорняков. Вторая стратегия – инвазивность (способность быстро распространяться и осваивать новые места обитания, включая как окультуренные участки, так и природные экосистемы). Инвазивности, кроме вышеназванных признаков, способствуют модификации, увеличивающие семенную продуктивность ГИО (как сами по себе, так и в комплексе с первыми). Инвазивность может стать причиной как первичного, так и вторичного засорения. Она гораздо опаснее в плане изменения сложившихся природных популяций и экосистем.

Одним из аспектов инвазивности является способность к **переносу генов, в частности трансгенов, диким видам или видам-сорнякам**. Для окультуренных и природных экосистем последствия дрейфа чужеродных генов к диким сорочичам могут оказаться более серьезными, чем инвазивность самих ГИО. Дикие виды изначально более приспособлены к природным условиям и существует вероятность того, что потенциальный сорняк или дикий вид станет более агрессивным захватчиком новых мест обитания, чем исходный ГИО с последующими каскадными эффектами.

Перенос генов возможен при переопылении видов и их успешной гибридизации. Поэтому при выборе объекта трансгенеза и выпуске ГМО в окружающую среду необходимо учитывать биологию размножения вида и наличие родственных видов в регионе высвобождения. Однако для появления популяции растений с новым признаком необходима трансгрессия гена, обеспечивающая стабильное присутствие гена в популяции на протяжении ряда поколений. Чтобы она осуществилась, гибриды должны давать фертильное и жизнеспособное потомство или свободно скрещиваться с исходными видами (в том числе источником трансгена) на протяжении определенного времени, которое определяется размером исходной популяции и стабильностью поступления и циркуляции гена внутри популяции. Межвидовая трансгрессия явление гораздо более редкое, чем межвидовая гибридизация, однако она случается. В частности была выявлена трансгрессия признаков устойчивости к глифосату и синтеза Vt-токсина от соответствующих трансгенных форм рапса масличного к сорняковому виду *V. rapa*. В результате коммерческое использование рапса со встроенным геном Vt-токсина было запрещено (Stewart et al, 2003).

Чтобы предотвратить негативные эффекты, связанные с неуправляемой агрессивностью ГИО и трансгрессией чужеродных генов в природные популяции, необходимо при предполагаемом высвобождении ГИО в окружающую среду проводить серьезную и добросовестную оценку всех неблагоприятных факторов которые могут иметь место при работе с данным ГИО. Если имеющейся информации о высвобождении недостаточно (скорее всего, это будет информация, касающаяся взаимодействия нового ГИО с окружающей средой), необходимо проведение лабораторных и полевых тестов. Для этой цели может быть использован многоступенчатый тест, предложенный американскими учеными (Rissler, Mellon, 1993).

К проблеме дрейфа генов можно отнести также вопросы, связанные **горизонтальным переносом генов**. Имеется ввиду возможность переноса трансгенов от растений к бактериям. В этот же блок проблем можно включить также **влияние трансгенных вирусных ДНК (РНК) на естественную эволюцию вирусов путем транскрипции или рекомбинации**. В чем потенциальная опасность горизонтального переноса трансгенов в бактерии и эволюции вирусов? При переносе генов из трансгенного растения в бактерии больше всего нареканий вызывает возможность переноса маркерных для трансгенных растений признаков устойчивости к антибиотикам в микроорганизмы почвы и ризосферы растений. Транскрипция вирусов капсидным белком, вырабатываемым устойчивым к определенному вирусу растением со встроенным геном синтеза этого белка может расширить ряды носителей вируса. А рекомбинация вирусной ДНК или РНК с ДНК или РНК растений может стать причиной как расширения рядов носителей, так повышения вирулентности вирусов.

Вероятность горизонтального переноса определяется во-первых, способностью свободной ДНК растений сохраняться в почве некоторое время после отмирания растения и во-вторых вероятностью трансформации бактерий растительной ДНК. Хотя способность к трансформации у свободной растительной ДНК в почве может сохраняться в течение нескольких дней, частота трансформации такой ДНК бактериями будет составлять порядка  $10^{-10} - 10^{-11}$ . Подобная частота трансформации делает возможность горизонтального переноса, в частности генов устойчивости к антибиотикам, весьма маловероятной (Smalla et al, 2000). Хотя возможность рекомбинации растительной и вирусной ДНК (РНК) была показана экспериментально, вероятность такого события в природе также крайне низка. А вероятность транскрипции пока рассматривается только теоретически (Rissler, Mellon, 1993; Kwon, Kim, 2001).

Еще одним значимым неблагоприятным эффектом ГИО может стать **отрицательное влияние продуктов трансгена на организмы, не являющиеся мишенью трансгенного признака**. Это касается, прежде всего, модификаций, контролирующей выработку растениями эндогенных пестицидов или фармакологических биологически активных веществ. Если токсин будет присутствовать не только в зеленых частях растения, но и в пыльце, он может нанести серьезный ущерб популяции насекомых-опылителей; вместе с пылью рассеяться на прилегающие территории и попасть на растения, являющиеся базой питания насекомых, не являющихся вредителями сельскохозяйственных культур или повредить полезному насекомому-хищнику, питающемуся отравленными вредителями. В случае если токсин не разрушается после отмирания растения, могут пострадать почвенные насекомые и микроорганизмы.

ГИО, созданные для синтеза фармакологических и биологически активных веществ, могут быть потенциально опасны для случайно съевших их млекопитающих из-за наркотического или другого, психотропного или физиологического, воздействия. Поэтому очень важно сделать посадки таких растений недоступными для диких и домашних животных, в первую очередь растительоядных.

Чтобы минимизировать побочные влияния трансгенов, кодирующих эндогенные пестициды, следует добиваться их экспрессии лишь в определенных органах или на определенных этапах развития растений и ограничиваться видами токсинов, прекращающих свое действие вместе с отмиранием трансгенного растения (быстро деградирующие в почве).

Адекватная оценка возможности неблагоприятного влияния ГИО на организмы-немишени возможно только при комплексном подходе с учетом как результатов лабораторных тестов на токсичность, так и экологии ГИО и видов-немишеней (биологии ГИО и видов-не мишеней, особенностей использования ГИО, мест обитания и поведения видов-немишеней). Для изучения взаимодействия ГИО и видов-немишеней может быть предложена схема, используемая Американским агентством по защите окружающей среды для определения токсических эффектов различных химических веществ на природные популяции и экосистемы (Kendall et al, 1996). Эта схема уже была с успехом применена для

оценки предполагавшегося отрицательного влияния Bt-токсичной кукурузы на динамику популяций бабочки Монарх (*Donaus plexippus*) и позволила выявить действительные причины, способствующие сокращению популяции бабочки. Как оказалось, основная вина за сокращение численности вида лежит не на ГИО, а на сокращении мест обитания бабочки (Sears et al, 2000).

**Широкомасштабное и длительное культивирование в одном регионе трансгенных растений с устойчивостью к определенным гербицидам или пестицидными свойствами может постепенно привести к появлению организмов - сорняков, патогенных микроорганизмов или насекомых с повышенной к ним устойчивостью.** Эта проблема может быть вызвана двумя причинами: с одной стороны она может быть последствием трансгрессии генов устойчивости в популяции родственных видов (устойчивость к гербицидам), с другой – вызываться эволюционными причинами внутри популяций растений или насекомых, взаимодействующих с ГИО. В любом случае, чтобы не вызвать «привыкания» патогенов к определенным продуктам трансгена, следует избегать длительного посева на одном и том же месте ГИО со сходными встроенными генами (сходными признаками). То есть, предотвратить потенциальное негативное влияние ГИО вполне возможно обычными агротехническими приемами, такими как севооборот и посадка однотипных трансгенных растений на изолированных друг от друга участках.

Международный опыт по оценке экологического риска, связанного с высвобождением растительных ГИО в окружающую среду свидетельствует о том, что потенциальный риск негативного влияния некоторых объектов генно-инженерной деятельности на окружающую среду существует. Однако в большинстве случаев он не так уж велик и часто гораздо меньше, тех, что связаны с использованием интенсивных технологий ведения сельского хозяйства. А своевременная оценка такого риска и принятие необходимых мер безопасности, способны свести к минимуму или полностью предотвратить неблагоприятные последствия использования ГИО для человека и окружающей среды с одной стороны, и максимально использовать преимущества современных биотехнологий – с другой.

#### Основные использованные литературные источники:

Kendall R.J., T.E. Lacher, Jr. Ch. Bunck et al. An ecological risk assessment of lead shot exposure in non-waterfowl avian species: upland game birds and raptors. – Environ. Toxicol. & Chemistry. – 1996. – Vol.15. – P.4-20.




Kwon Y.W., D.-S. Kim. Herbicide resistant genetically modified crop: its risk with an emphasis on gene flow. Weed Biology and Management. –2001. – Vol.1. – P.42-52.

Rissler G., M. Mellon. Perils amidst the promise: ecological risks of transgenic crops in a global market. 1993. Union of concerned scientists, Cambridge. 92 p.

Sears M.K., R.L. Hellmish, D.E.Stanley-Horn et al. Impact of Bt corn pollen on Monarch butterfly populations: A risk assessment. 2000. [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.211329998](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.211329998).

Smalla K., S. Borin, H. Heuer, F. Gebhard, J.D. van Elsas, K.Nielsen. Horizontal transfer of antibiotic resistance genes from transgenic plants to bacteria – are there new data to fuel the debate? – Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Symposium on the Biosafety of Genetically Modified Organisms (July, 2000, Saskatoon, Canada). – University Extension Press, Saskatchewan, 2000. – P.146-154. (ISBN0 –88880 – 412-1).

Stewart C.N. Jr., M.D. Halfhill, S.I. Warwick. Transgene introgression from genetically modified crops to their wild relatives. Nature Reviews (Genetics). - 2000. - Vol.4. - P 806-817.

 United Nations Environment Program  
 The Global Environment Facility  
 Национальный координационный центр биобезопасности  
 Совместный проект Правительства Республики Беларусь и Программы ООН по окружающей среде (UNEP) «Разработка национальной системы биобезопасности для Республики Беларусь»

## Экологические риски, связанные с высвобождением генно-инженерных организмов в окружающую среду и методы их оценки

**Е.В. Воронкова**  
 Институт генетики и цитологии НАН РБ


**Растения** - основной объект генно-инженерных исследований сегодня.  
 Успехи в таких исследованиях - основа быстрого распространения и коммерциализации генетически модифицированных сельскохозяйственных, лесных, аква- и декоративных культур



*GM crops worldwide*

**Микроорганизмы** – первый и наиболее освоенный объект генной инженерии

Система мониторинга за работами с микробиологическими ГИО и их утечкой в окружающую среду хорошо отработаны



**Животные** – генно-инженерные работы только начинаются

Система мониторинга утечки ГИО в окружающую среду не представляется сложной из-за лабораторного (клеточного) или вольерного содержания

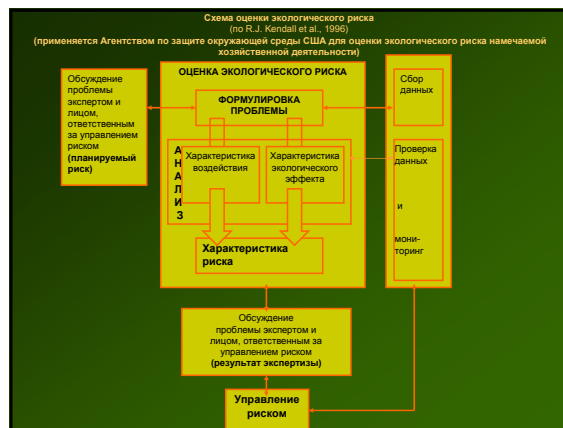



**Наиболее неблагоприятные эффекты связаны с переносом генов, дающих ГИО новые экологические преимущества по сравнению с исходными или природными популяциями**  
 (делают их способными значительно превысить обычные лимиты популяционного роста)

**Гены, дающие такое преимущество:**

- устойчивость к болезням
- устойчивость к вредителям
- устойчивость к абиотическим факторам (холод, засуха, засоление почв)
- устойчивость к гербицидам

Меньшую опасность представляют гены, обеспечивающие улучшение качественных (биохимических) показателей сельскохозяйственной продукции



### Информация, необходимая для оценки безопасности генно-инженерных высших растений (голосеменных и покрытосеменных)

#### Д. Информация о взаимодействии ГИО с окружающей средой:

- Биологические особенности ГИО, которые могут оказывать влияние на выживаемость, размножение и распространение в потенциальной принимающей среде.
- Известные и прогнозируемые условия потенциальной принимающей среды, которые могут оказывать влияние на выживаемость, размножение, рассеивание ГИО.
- Способность к переносу генетической информации: наличие в потенциальной принимающей среде диких или культурных родственных видов, способных к гибридизации с ГИО, вероятность переноса трансгенов от ГИО к таким организмам.
- Конкурентное преимущество ГИО (по сравнению с интактным реципиентным организмом).
- Вероятность проявления у ГИО в потенциальной принимающей среде нежелательных свойств, признаков.
- Вероятность резкого увеличения численности популяции ГИО в потенциальной принимающей среде.
- Идентификация и описание организмов-мишеней.
- Предполагаемый механизм и результат взаимодействия ГИО с организмами-мишенями.
- Идентификация и описание организмов-немишеней, которые могут быть подвержены влиянию ГИО.
- Другие потенциально возможные взаимодействия ГИО с окружающей средой

#### Е. Информация о высвобождении, мониторинге, контроле, очистке территории и действиях при непредвиденных обстоятельствах

### ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ НЕБЛАГОПРИЯТНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ВЫСВОБОЖДЕНИЯ ГИО В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

- 1 Появление новых более агрессивных сорняков путем:
  - приобретения ГИО в результате генетической модификации свойств, характерных для сорняков;
  - передачи трансгенов диким видам, родственным ГИО.
- 2 Изменение естественных биоценозов в результате переноса трансгенов диким видам, родственным ГИО.
- 3 Воздействие продуктов трансгенов на организмы, не являющиеся их мишенями.
- 4 Появление живых организмов, резистентных или толерантных к продуктам трансгенов.
- 5 Влияние трансгенных вирусных ДНК (РНК) на естественную эволюцию вирусов путем транскрипции, синергизма, рекомбинации.

### Генно-инженерная модификация может способствовать повышению агрессивности культуры в качестве сорняка

(сорняк - растение, которое не связано специально и нежелательные характеристики которого превышают положительные).

Наибольшая опасность - трансгенез растений, которые и без того являются потенциальными сорняками или имеют родственные виды – потенциальные сорняки.

### ПРИЗНАКИ РАСТЕНИЙ, ХАРАКТЕРНЫЕ ДЛЯ СОРНЯКОВ (ПО ВАКЕР, 1965, 1974)

1. Семена прорастают в различных условиях среды.
2. Семена длительное время сохраняют жизнеспособность.
3. Растения быстро проходят фазы вегетации до цветения.
4. Растения образуют семена в течение длительного времени в ходе вегетации до тех пор, пока позволяют условия произрастания.
5. Самосовместимы, но не являются строгими самоопылителями.
6. Пыльца при перекрестном опылении переносится неспециализированными насекомыми или ветром.
7. Растения формируют очень много семян в благоприятных условиях среды.
8. Растения образуют семена в широком диапазоне условий среды.
9. Адаптированы к рассеванию как на большие расстояния, так и на короткие.
10. Если многолетники, то способны очень хорошо размножаться вегетативно, способны к регенерации из фрагментов растения.
11. Если многолетники, то растения очень хрупкие в области стебля, расположенной на уровне почвы, что предохраняет их от легкого извлечения из почвы.
12. Растения приспособлены к конкуренции с помощью специальных средств: формирования розеток, роста, подавляющего соседние растения, образования токсичных веществ.

### Две стратегии получения экологических преимуществ, используемые растениями-сорняками

#### Вторая стратегия -- инвазивность

Способность быстро распространяться и осваивать новые места обитания, включая окультуренные участки (включая прилегающие к окультуренным или периодически используемым человеком) и природные экосистемы (включая охраняемые)

#### Наиболее опасные направления генно-инженерных модификаций:

- изменение времени покоя семян,
- изменение характеристик прорастания семян,
- ускоренный рост вегетативной массы растения,
- устойчивость к абиотическим и биотическим стрессам,
- способность подавлять рост соседних растений
- увеличение семенной продуктивности

#### Потенциальная опасность:

- Засорение посадок последующих культур, снижение у них объема и качества урожая.
- Источники вторичного засорения:
- Засорение слезившихся природных популяций и экосистем
- Растительные сообщества являются местом обитания и основанием пищевой пирамиды. Поэтому появление нового, быстро размножающегося вида способно привести к неблагоприятным каскадным последствиям для популяций растений, животных и микроорганизмов и экосистемы в целом)
- Перенос генов диким сорнякам или сорнякам-сорнякам

### Перенос трансгенов от ГИО диким видам или видам-сорнякам путем случайного неконтролируемого скрещивания трансгенных растений с близкородственными видами.

#### Потенциальная опасность:

- Жизнеспособные и фертильные (способные давать потомство) гибриды и их потомство могут стать сорняками для исходной трансгенной культуры или сорняками вообще, аналогично сорнякам-ГИО. Источник вторичного засорения сельскохозяйственных угодий
- Велика вероятность что гибриды и их потомство станут более агрессивными сорняками, так как дикие виды более приспособлены для выживания без протекционизма человека, следовательно у них больше шансов, чем у культурных растений при проникновении и закреплении в новых экологических условиях
- Неблагоприятные каскадные эффекты для популяций других растений, животных и всей экосистемы .

Необходимое условие при создании, распространении и возделывании ГИО -- оценка отсутствия в регионе родственных видов, принадлежащих к тому же, что и ГИО роду и/или семейству



**Основные сельскохозяйственные культуры, у которых были выявлены случаи гибридизации с дикими сородичами в естественных условиях и вероятность трансгрессии признаков от этих культур к другим культурным и диким видам**  
(Y. W. Know, D-S. Kim, 2001; C.N. Stewart et al., 2003)

Культура	Партнеры по естественной гибридизации в природе	Вероятность трансгрессии	Виды, к которым вероятно трансгрессия признаков	Признаки, выделенные путем трансгрессии
<b>Перекрестноопыляющиеся культуры</b>				
Пшеница	Пшеница, 5 видов <i>Triticum</i>	низкая		
Кукуруза	Тосочница <i>Zea mays</i>	низкая		
Подсолнечник	4 вида <i>Helianthus</i>	средняя	<i>Helianthus</i> , <i>H. petiolaris</i>	Устойчивость к гербицидам, насекомым**
Салатная свекла	Все виды рода <i>Beta</i>	средняя	<i>B. vulgaris</i> spp. <i>maritima</i>	Устойчивость к гербицидам, вирусам*
Лимоны	2 вида рода <i>Meliodora</i>	средняя	<i>M. indica</i> spp. <i>malina</i> , <i>spp. indicata</i>	Устойчивость к гербицидам, стрессам*
Сорго	Одичавшее сорго, 3 вида рода <i>Sorghum</i>	высокая	<i>S. bicolor</i> , <i>S. halepense</i> , <i>S. propinqua</i> , <i>S. alatum</i>	Нет, так как все виды являются трансгрессивными формами исходных видов
<b>Самонаопыляющиеся культуры</b>				
Лен	2 вида рода <i>Linum</i>	низкая		
Свекла	2 вида рода <i>Beta</i>	низкая		
Томаты	Род <i>Lycopersicon</i> и <i>Solanum</i>	низкая		
Рис	3 вида рода <i>Oryza</i>	низкая		
Хлебная пшеница	3 вида рода <i>Triticum</i>	низкая		
Картофель	<i>Solanum</i> spp., <i>Tuberosa</i> и еще 6 видов	низкая		
Рис	5 видов рода <i>Oryza</i>	низкая		
Соя	<i>Glycine</i> spp.	низкая		
Пшеница	Теропанские пшеницы, <i>Sesale</i> spp., <i>Hordeum</i> spp., <i>Hordeum</i> spp.	средняя	<i>Aegilops</i> <i>scabridula</i> (Северная Америка)	Устойчивость к гербицидам*
Масляничный рапс	7 видов рода <i>Brassica</i>	средняя	<i>B. napus</i> (все регионы выщипывания капусты (Восток и В. Европа))	Устойчивость к гербицидам** Устойчивость к насекомым, вирусам, стрессам, болезням***

\* Селекционные образцы      \*\* Коммерческие сорта и гибриды      \*\*\* коммерческое использование запрещено

**Краткая схема проведения оценки риска ГИО для окружающей среды по двум показателям**

Оценка риска, связанного с тем, что ГИО может стать сорняком		Оценка возможности дрейфа генов от ГИО к диким родственным видам		Источник информации Уже существующая информация для экспертной оценки ; Лабораторный (полевой) тест
<b>Ступень 1: Оценка потенциальной возможности исходной культуры быть сорняком</b> (Является ли исходная культура сорняком и имеет ли она подобные родственные дикие виды?)	<b>Ступень 1: Существование дрейфа генов между исходной культурой и дикими родственными видами</b> (Возможны ли фертильные гибриды между исходной культурой и дикими видами?)	<b>Да</b> / <b>Нет</b>	<b>Да</b> / <b>Нет</b>	
<b>Риск высок</b> Переход ко 2 ступени теста (стандартный обзор)	<b>Риск невысок</b> Переход ко 2 ступени теста (сокращенный обзор)	<b>Риск высок</b> Переход ко 2 ступени теста (стандартный обзор)	<b>Риск практически отсутствует</b> , конец анализа	<b>Лабораторный (полевой) тест на «замещение популяции»?</b> <b>Да</b> / <b>Нет</b>
<b>Ступень 2: Экологическое поведение ГИО или их гибридов популяции исходной культуры в эксперименте «замещения популяции»?</b>		<b>Риск высок</b> Запрещение коммерческого использования ГИО или переход к 3 ступени теста		
<b>Ступень 3: Уровень вреда от ГИО в качестве сорняка (Возрастает ли потенциал ГИО как сорняка?)</b>		<b>Риск высок</b> , запрещение коммерческого использования ГИО	<b>Риск невысок</b> , конец анализа	

**Оценка потенциальной возможности трансгрессии к растениям природных популяций**  
(вероятность возникновения фертильных гибридов и их потомства при скрещивании сельскохозяйственной культуры и ее дикого родственного вида и/или вида-сорняка)

1. Имеет ли сельскохозяйственная культура половой тип размножения?	<b>ДА</b> — переход к 2 <b>Нет</b> (преимущественно вегетативный) — риск незначительный. Конец анализа
2. Является ли перекрестно опыляемым?	<b>ДА</b> — переход к 3 <b>Нет</b> (преимущественно самоопыляемый) — риск незначительный. Конец анализа
3. Имеет ли совместимые родственные виды на территории распространения?	<b>ДА</b> — переход к 4 <b>Нет</b> — риск незначительный. Конец анализа
4. Может ли скрещиваться с родственными видами в принципе и привести к образованию фертильного потомства. То есть обеспечить дрейф генов из популяции или внутрь нее?	<b>ДА</b> — переход к 5 <b>Нет</b> — риск незначительный. Конец анализа
5. Является ли время цветения культурного (ГИО) и дикого вида/сорняка совпадающим или близким по времени (с учетом срока жизнеспособности пыльцы и количества образующейся фертильной пыльцы)?	<b>ДА</b> — переход к 6 <b>Нет</b> — риск незначительный. Конец анализа
6. Используют ли культуры вид (ГИО) и диким родственными видами/сорняками одинаковую систему опыления (ветер, насекомые)?	<b>ДА</b> — переход к 7 <b>Нет</b> — риск незначительный. Конец анализа
7. Могут ли культурный вид и диким родственными видами/сорняками перекрестно опыляться в природе и образовывать жизнеспособные семена, способные к последующему размножению в природных (полевых) условиях?	<b>ДА</b> — необходима оценка популяционного поведения ГИО <b>Нет</b> — риск незначительный. Конец анализа

**Генно-инженерная модификация может быть передана от растения в бактерии (горизонтальный перенос трансгена). Влияние трансгенных вирусных ДНК (РНК) на естественную эволюцию вирусов путем транскрипции, синергизма, рекомбинации.**

Потенциальная опасность:

- \*перенос признака устойчивости к антибиотикам от растительных ГМО к бактериям почвы и ризосферы растений
- \*транскрипция вирусов протеином, вырабатываемым устойчивым к определенному вирусу растением со встроившим геном синтеза этого протеина может расширить ряды носителей вируса
- \*рекомбинация вирусной ДНК (РНК) с ДНК (РНК) растений может стать причиной повышения вирулентности вирусов или расширить ряды их носителей

**Условия, при которых может осуществиться горизонтальный перенос:**

1. Способность свободной ДНК сохраняться в почве некоторое время после отмирания растения

За счет охраняющего действия клеточных стенок отмершего растения и формирования конгломерата с кусочками глины, кварцевыми частицами или гуминовыми кислотами ДНК способна сохраняться в почве до нескольких недель или даже месяцев (Nielsen et al, 1997; Widmer et al, 1996, 1997; Paget & Simonet, 1997; Gebhard & Smalla, 1999)

Способность к трансформации сохраняется в течение нескольких дней (Nielsen et al, 2000)

**Условия, при которых может осуществиться горизонтальный перенос:**

2. Вероятность трансформации бактерий растительной ДНК

Экспериментально доказана возможность трансформации почвенной бактерии *Acinetobacter* sp BD413, содержащей pRII-ген с делецией 10 пар нуклеотидов посредством ДНК из гомогената картофеля, табака, свеклы, томата и масляного рапса (Gebhard & Smalla, 1999)

Особенности трансформации :1) очень низкая частота  
2) процесс происходил в стерильных условиях  
3) процесс происходил только при оптимизации условий протекания трансформации

Эксперимент в натуральных условиях (не стерильная почва) низкая частота трансформации уменьшалась критическим образом и становилась практически неопределимой ( $10^{-10}$  –  $10^{-11}$ )

**Вывод:** Частота трансформации порядка  $10^{-10}$  –  $10^{-11}$  делает возможность горизонтального переноса, в частности генов устойчивости к антибиотикам, весьма маловероятной

### Транскрипция вирусов и рекомбинация с ДНК (РНК) трансгенных растений

Транскрипция – возможность экспериментально показана в эксперименте Франки (1990); протеин вируса мозаики огурца (CMV) образовывал протемную оболочку у вируса табачной мозаики (TMV) в модельной системе.

Данных, подтверждающих существования подобного явления в природе - нет

Рекомбинация – доказана экспериментально:

1. Рекомбинация между вирусом мозаики цветной капусты (CaMV) и CaMV геном, трансгенной масличной редьки (*B. rapa*)
2. Генерация трансгенным табаком *Nicotiana bigelovii* рекомбинантных вирусов с большей вирулентностью по отношению к табаку, чем исходный фильтрат вируса (Wintermantel & Schoelz, 1996)

Рекомбинация между ДНК (РНК) вирусов и ДНК (РНК) случается, однако это очень редкое событие.

Чтобы еще уменьшить вероятность подобной рекомбинации следует реже использовать в генно-инженерных конструкциях промоторы вирусного происхождения.

### Отрицательное влияние продуктов трансгена на организмы, не являющиеся мишенью трансгенного признака



### Наиболее опасные направления генно-инженерных модификаций

1. Встраивание генов, контролируемых выработкой растениями эндогенных пестицидов
2. Встраивание генов фармакологических и биологически активных веществ

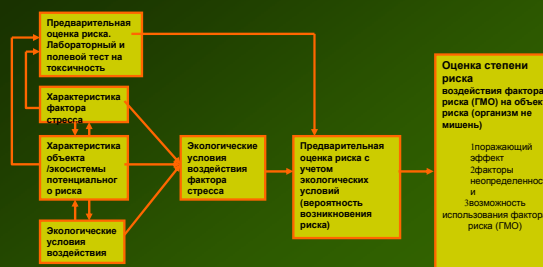
#### Потенциальная опасность

1. Может нанести серьезный ущерб популяции насекомых-опылителей;
2. Вместе с пылью рассеиваться на прилегающие территории и попасть на растения, являющиеся базой питания насекомых, не являющихся вредителями сельскохозяйственных культур.
3. После отмирания растения, в случае если токсин не разрушается, могут пострадать почвенные насекомые и микроорганизмы.
4. ГИО, созданные с целью синтеза фармакологических и биологически активных веществ, могут быть потенциально опасны для млекопитающих, так как могут оказывать на них наркотическое или другое психотропное или физиологическое воздействие.

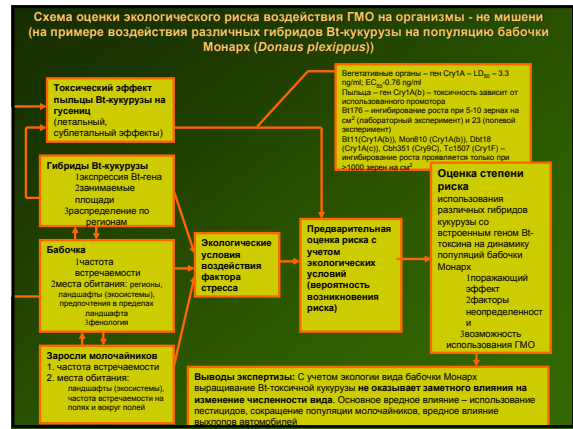
### Меры для предотвращения или минимизации предполагаемого негативного эффекта

1. При создании ГИО следует добиваться экспрессии трансгена лишь в определенных органах или на определенных этапах развития растений.
2. Ограничиваться видами токсинов, прекращающих свое действие вместе с отмиранием трансгенного растения (быстро деградирующие в почве).
3. Сделать посадки трансгенных растений, синтезирующих фармакологические и биологически активные вещества недоступными для диких и домашних животных, в первую очередь растительноядных.

### Схема оценки экологического риска воздействия ГМО на организмы - не мишени







**Появление живых организмов, резистентных или толерантных к продуктам трансгенов**

**Потенциальная опасность:**  
Появление сорняков, патогенных микроорганизмов или насекомых с повышенной устойчивостью к признаку, контролируемому трансгеном

**Наиболее опасные направления генно-инженерных модификаций:**  
Встраивание генов, продукты которых имеют пестицидные свойства  
Модификации, связанные с повышением устойчивости растений к гербицидам

**Меры для предотвращения или минимизации предполагаемого негативного эффекта:**  
Избегать длительного посева на одном и том же месте ГИО со сходными встроенными генами, чтобы не вызвать «привыкания» патогенов к определенным продуктам трансгена или используемому на участке гербициду.

**Своевременная оценка риска и принятие необходимых мер безопасности, включая государственное регулирование в области генно-инженерной деятельности позволит свести к минимуму или полностью предотвратить неблагоприятные последствия использования ГИО для человека и окружающей среды с одной стороны. И максимально использовать преимущества современных биотехнологий – с другой.**

Спасибо за внимание