

Возможные неблагоприятные эффекты ГИО на окружающую среду и пути их предотвращения

Е.В. Воронкова

Современное состояние молекулярно-биологических и генно-инженерных исследований в наибольшей степени способствует сегодня созданию новых ГИО на основе сельскохозяйственных, лесных аква- и декоративных культур растений. Мы наблюдаем ускоренную коммерциализацию этого процесса, широкое и быстрое распространение растительных ГИО на посевных и других, используемых человеком площадях во всем мире. Биология размножения растений позволяет им вне зависимости от воли человека распространяться за пределы отведенных им территорий, быстро осваивать новые пространства и экологические ниши. Это осложняет контроль за ГИО-растениями и определяет высокую вероятность их воздействия на окружающую среду. Гигантские масштабы возделывания ГИО, какие мы наблюдаем, например, в США, могут привести к серьезным экологическим последствиям даже при незначительных изменениях в геноме растений, если эти изменения, будучи полезными для человека и самого растения, несут неблагоприятные эффекты для соседних популяций растений и животных и, соответственно, экосистемы в целом.

Таковыми потенциально опасными модификациями прежде всего являются те, которые дают модифицированным растениям новые экологические преимущества, по сравнению с исходными растениями или растениями природных популяций, то есть делают их способными значительно превысить обычные лимиты популяционного роста (модификации, повышающие устойчивость к болезням или вредителям; абиотическим факторам среды, таким как холод, засуха, засоление почв и гербициды). Менее опасными представляются модификации, связанные с улучшением качества биохимических показателей сельскохозяйственной продукции, хотя и они, за счет совместного или каскадного действия генов, могут, в конечном итоге, привести к нежелательному популяционному росту.

Какие же основные неблагоприятные воздействия со стороны ГИО могут существовать для окружающей среды и благосостояния человека в этой среде обитающего и использующего ее для своих целей?

Во-первых, генно-инженерная модификация может способствовать появлению новых сорняков или повышать агрессивность тех, которые уже являются потенциальными сорняками, если такая модификация наделяет ГИО свойствами, характерными для сорняковых растений. Ярким примером такого рода растений является рапс (*Brassica napus*). В этой связи максимальную осторожность надо проявлять при трансгенезе видов, которые уже являются потенциальными сорняками или имеют родственные виды-сорняки в природе.

Растительные виды могут становиться сорняками, используя две основные стратегии. Первая – выживаемость, то есть способность сохраняться в агросреде даже в случае направленной борьбы с ними и препятствовать росту последующих культур. Трансгенез с целью изменения таких качеств, как время покоя семян, характеристик прорастания семян, ускорение роста вегетативной массы растения, устойчивость к абиотическим и биотическим стрессам, способность подавлять рост соседних растений, может способствовать повышению выживаемости потенциально сорничающих растений.

Вторая стратегия – инвазивность, то есть способность быстро распространяться и осваивать новые места обитания, включая не только окультуренные участки, но и природные экосистемы (прежде всего прилегающие к окультуренным, или периодически используемые человеком; однако существует вероятность проникновения новых видов в дикие и даже охраняемые экосистемы). В данном случае кроме факторов, повышающих выживаемость растений, негативную роль могут сыграть модификации, увеличивающие семенную продуктивность ГИО (как сами по себе, так и в комплексе с первыми).

Вторая стратегия представляет большую опасность, так как является не только источником первичного засорения окультуренных земель, но может, во-первых, служить источником вторичного засорения (сорняки могут вернуться на поле из природных популяций спустя несколько поколений). Во-вторых, инвазивность гораздо опаснее в плане изменения сложившихся природных популяций и экосистем. Не следует забывать, что растительные сообщества являются местом обитания и основанием пищевой пирамиды для животных и микроорганизмов, включая почвообразующие. Появление нового, быстро размножающегося вида способно привести к каскадным и иногда необратимым последствиям для отдельных популяций и экосистемы в целом.

Одним из аспектов инвазивности является способность переноса генов, в частности трансгенов, диким видам или видам-сорнякам путем случайного неконтролируемого скрещивания трансгенных растений с близкородственными видами. При этом, если гибриды и их потомство оказываются жизнеспособными и фертильными (в свою очередь способными давать потомство), появляется реальная опасность того, что это потомство станет сорняками для исходной трансгенной культуры или сорняками вообще, аналогично сорничающим ГИО (источник вторичного засорения). Для окультуренных и природных популяций и экосистем последствия дрейфа чужеродных генов к диким сородичам могут оказаться более серьезными, чем инвазивность самих ГИО, так как дикие виды изначально более приспособлены к природным условиям, чем их культурные родственники, имеющие более-менее длительную историю селекции и возделывания в условиях человеческого протекционизма. То есть существует вероятность того, что потомство от скрещивания ГИО и дикого сородича станет более агрессивным захватчиком новых мест обитания с последующими каскадными эффектами.

Поэтому при создании, распространении и возделывании ГИО следует учитывать наличие в регионе растений эволюционно им близких (принадлежащих к тому же виду, роду и, в отдельных случаях, трибе или семейству). Если такие родственные виды имеют место, то особое внимание необходимо уделить оценке биологических особенностей ГИО, касающихся системы размножения и способности образовывать фертильные гибриды с дикими сородичами.

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 пыльцой рассеяться на прилегающие территории и попасть на растения, являющиеся базой питания насекомых, не являющихся вредителями сельскохозяйственных культур. В случае если токсин не разрушается после отмирания растения, могут пострадать почвенные насекомые и микроорганизмы. Таким образом, 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).

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

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. Поэтому, чтобы не вызвать

«превыкания» патогенов к определенным продуктам трансгена или используемому на участке гербициду, следует избегать длительного посева на одном и том же месте ГИО со сходными встроенными генами. 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.

Количество объектов и уровень коммерциализации генно-инженерной деятельности увеличивается с каждым годом. Расширяется разнообразие модификаций и встраиваемых генов. Соответственно увеличивается вероятность появления потенциально неблагоприятных эффектов ГИО на окружающую среду. Каким образом сделать такие эффекты нулевыми или минимальными? Старая поговорка гласит: «кто предупрежден – тот вооружен». Поэтому, прежде всего, необходимо наладить систему надежной и достоверной оценки потенциального риска. Первым этапом такой оценки должен стать сбор и анализ уже имеющейся информации, касающейся биологических особенностей реципиентного организма (то есть объекта генно-инженерной деятельности), самого ГИО, среды, в которую предполагается его интродуцировать и их предполагаемом взаимодействии (уделяя особое внимание способности ГИО к переносу генетической информации в дикие или культурные родственные виды; конкурентным преимуществам ГИО и вероятности резкого увеличения численности популяции ГИО в потенциальной принимающей среде; идентификации и описанию организмов мишеней и не-мишеней, которые могут быть подвержены влиянию ГИО). А также информации о высвобождении, мониторинге, контроле, очистке территорий от ГИО и действиях при непредвиденных обстоятельствах. Если имеющейся информации 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, которые уже имеют немалый опыт в оценке риска ГИО для окружающей среды (Rissler, Mellon, 1993).

Прогресс в развитии современных биотехнологий и их широком использовании в сельскохозяйственной практике невозможно остановить. Эти технологии способны дать значительные положительные экономические и экологические эффекты. Тем не менее, не следует забывать и полностью исключать вероятность возникновения неблагоприятных влияний ГИО на окружающую среду и жизнедеятельность человека. Своевременная оценка такого риска и принятие необходимых мер безопасности, включая государственное регулирование в области генно-инженерной деятельности, призваны 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.

Использованные литературные источники:

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

Экологические риски, связанные с высвобождением генно-инженерных организмов в окружающую среду.

Методы их оценки и предупреждения

Е.В. Воронкова

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

Растения – основной объект генно-инженерных исследований сегодня.

Успехи в таких исследованиях – основа быстрого распространения и коммерциализации генетически модифицированных сельскохозяйственных, лесных, аква- и декоративных культур



Различия в поведении растений, полученных путем традиционной селекции и посредством генной инженерии

Метод селекции	Различие в действии генов	Экологическое поведение и последствия
традиционный	Действие/взаимодействие генов в пределах нормы реакции для данного вида или близкородственных видов	Поведение и характеристики нового продукта селекции вполне предсказуемы и управляемы
Генно-инженерный	Появление новых, иногда совершенно не свойственных ни данному виду, ни родственным ему видам генов	В несвойственной среде новый ген может принести отрицательные экологические последствия как сам по себе, так и за счет совместного действия с уже существующим у данного организма комплексом генов

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

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 сеяли 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 рассейванию 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 используемые человеком) и природные экосистемы (включая охраняемые)

Наиболее опасные направления генно-инженерных модификаций:

изменение времени покоя семян, 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.
- Источник вторичного засорения:
- Засорение сплывшихся 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

Некоторые сельскохозяйственные растения, культивируемые в Белоруссии и имеющие на ее территории дикие или способные стать сорняком родственные виды

Использование в сельском хозяйстве	Культуры, имеющие родственные виды	Культуры, не имеющие родственные виды
Технические культуры	лен, рапс, редька масличная	подсолнечник, сахарная свекла
Зерновые и зернобобовые	рожь, овес, просо, ячмень	соя, фасоль, кукуруза, пшеница, горох, гречиха
Кормовые травы	люцерна, клевер, люпин, полевица, мятлик, тимopheevka, райграс, овсяница, ежа, кострец и др	
Плодово-ягодные культуры	черника, голубика, клюква, малина, смородина, груша, яблоня, лещина	
Овощные культуры и корнеплоды	морковь, петрушка, капуста, редис, турнепс	тыквенные (тыква, кабачок, огурец), томаты, перец, картофель

Оценка потенциальной возможности дрейфа трансгенов 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?	
ДА → переход к 2	Нет (преимущественно вегетативный) → риск незначительный. Конец анализа
2. Являются ли перекрестно опыляемым	
ДА → переход к 3	Нет (преимущественно самоопылятель) → риск незначительный. Конец анализа
3. Имеет ли совместные родственные виды на территории распространения	
ДА → переход к 4	Нет → риск незначительный. Конец анализа
4. Может ли скрещиваться с родственным видом в принципе и привести к образованию фертильного потомства. То есть обеспечить дрейф генов из популяции или внутрь нее	
ДА → переход к 5	Нет → 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)	
ДА → переход к 6	Нет → риск незначительный. Конец анализа
6. Используют ли культурный вид (ГИО) и дикий родственный вид/сорняк одинаковую систему опыления (ветер, насекомые)	
ДА → переход к 7	Нет → риск незначительный. Конец анализа
7. Могут ли культурный вид и дикие родственные виды/сорняки перекрестно опыляться в природе и образовывать жизнеспособные семена, способные к последующему размножению в природных (полевых) условиях	
ДА → необходима оценка популяционного поведения ГИО	Нет → риск незначительный. Конец анализа

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



Наиболее опасные направления генно-инженерных модификаций

1. Встраивание генов, контролирующих выработку растениями эндогенных пестицидов
2. Встраивание генов фармакологических и биологически активных веществ

Потенциальная опасность

1. Может нанести серьезный ущерб популяции насекомых-опылителей;
2. Вместе с пыльцой рассеяться 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.

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.

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, рассевание 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

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) test	
Ступень 1: Оценка потенциальной возможности исходной культуры быть сорняком (Является ли исходная культура сорняком и имеет ли она подобные родственные дикие виды?)		Ступень 1: Существование дрейфа генов между исходной культурой и дикими родственными видами (Возможны ли фертильные гибриды между исходной культурой и дикими видами?)			
Да/нет	Нет	Да	Нет		
Риск высок Переход ко 2 ступени теста (стандартный объем)	Риск невысок Переход ко 2 ступени теста (сокращенный объем)	Риск высок Переход ко 2 ступени теста (стандартный объем)	Риск практически отсутствует, конец анализа	Лабораторный (полевой) test на «замещение популяции»	
Ступень 2: Экологическое поведение ГИО и/или их гибридного потомства (Превосходят ли популяции ГИО или их гибридов популяции исходной культуры в эксперименте «замещения популяции»?)					
Да		Нет			
Риск высок Запрещение коммерческого использования ГИО или Переход к 3 ступени теста		Риск невысок, конец анализа		Полевой test на уровень засорения сельскохозяйственной ГИО	
Ступень 3: Уровень вреда от ГИО в качестве сорняка (Возрастает ли потенциал ГИО как сорняка?)					
Да		Нет			
Риск высок, запрещение коммерческого использования ГИО		Риск невысок, конец анализа			

Своевременная оценка риска и принятие необходимых мер безопасности, включая государственное регулирование в области генно-инженерных технологий, 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.