

ГМО И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ РАСТЕНИЙ: ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И АГРОТЕХНИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Ю.В. Чесноков

Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова (ВИР),
Санкт-Петербург, Россия, e-mail: yu.chesnokov@vir.nw.ru

Рассмотрены вопросы экологической и агротехнической биобезопасности в связи с распространением генетически модифицированных организмов (ГМО). Обсуждается возможность непреднамеренного загрязнения образцов генных банков ГМО и трансгенами. На примере распространения ГМО в ряде регионов мира показано, что ширококомасштабное коммерческое использование ГМО сопровождается потенциальными экологическими и агротехническими рисками.

Ключевые слова: генетически модифицированные организмы (ГМО), образцы генетических ресурсов растений (ГРП), экологическая и агротехническая безопасность.

В последние десятилетия, благодаря разработке новых и совершенствованию имеющихся методов молекулярно-генетического изучения геномов живых организмов, идет активное развитие сельскохозяйственной биотехнологии. Одним из результатов этой активности является производство и широкое внедрение в сельское хозяйство новых генно-инженерно-модифицированных (ГМ) сортов растений. На сегодняшний день существует ряд международных соглашений, регламентирующих сохранение, а также устанавливающих надлежащий уровень защиты в области безопасной передачи, обработки и использования таких сортов (КБР, 1993; КПКБР, 2000). Так, согласно Конвенции по биоразнообразию (КБР, 1993), каждая страна-участница должна разработать стратегию и программу по сохранению и использованию своих биоресурсов, принимая во внимание их гарантированное и безопасное воспроизводство. Важными мероприятиями в этом контексте являются, например, установление и утверждение способов и методов регулирования, управления и контроля над рисками, связанными с созданием, использованием и распространением ГМ-сортов, а также разработка соответствующих процедур оценки возможного неблагоприятного воздействия

генетически модифицированных организмов (ГМО) на сохранение биоразнообразия.

Сформулированные еще в 1998 г. принципы охраны окружающей среды при выпуске ГМО в природу требуют, во-первых, оценить, когда появятся вредные последствия выпуска ГМО на здоровье человека и природные системы, во-вторых, выявить, когда ГМО или их продукты окажутся вредными при попадании в продукты потребления, в-третьих, определить, действительно ли ГМО дают тот положительный эффект, ради которого они и были созданы, и, наконец, гарантировать, что исключен какой-либо ущерб человеку или природе, когда ГМО появятся в различных регионах мира и различных экосистемах (**Scientists' Working Group on Biosafety, 1998**).

В 2010 г. исполнилось 15 лет со дня выхода коммерческих ГМ-культур на мировой рынок, и к настоящему времени общая суммарная площадь пахотных земель, на которых выращиваются коммерческие ГМ сельскохозяйственные культуры, составила более 1 млрд га (**Clive, 2010**). Всего же с 1996 по 2010 гг. произошло 87-кратное увеличение посевных площадей, занимаемых коммерческими ГМ-растениями. В 2010 г. площади под ГМ-растениями достигала 148 млн га, что составляет 10% общего количества возделываемых

! Позиция редколлегии не во всем совпадает с мнением автора.

земель в мире. Более половины населения земного шара (59% или ~4 млрд) живет в 29 странах, выращивавших коммерческие ГМ-растения в 2010 г. Число фермеров, производивших ГМ-растения, в 2009 г. составило 14 млн, а в 2010 г. – 15,4 млн человек, из них 90% – это мелкие и малообеспеченные фермеры из развивающихся стран. По прогнозам к 2015 г. ГМ-культуры будут выращивать 20 млн фермеров в 40 странах мира. В 2010 г. три страны – Пакистан, Мьянма и Швеция – впервые начали выращивать ГМ-растения, а Германия возобновила их разведение. В 2010 г. более половины всех пахотных земель приходилось на 29 стран (19 развивающихся и 10 индустриальных), производивших ГМ-культуры. Общая рыночная стоимость реализованных в 2010 г. ГМ-семян составила 11,2 млрд US\$, что составляет 33% от 34 млрд US\$ общего коммерческого рынка семян 2010 г. Наибольшее распространение в 2010 г. получили следующие трансгенные культуры: соя – 50% от всех генетически-модифицированных культур (ГМК), кукуруза – 30%, хлопчатник – 14%, рапс – 5%. Основные ГМ-признаки: гербицидоустойчивость – 61% от всех ГМК, два и более признаков – 22%, устойчивость к насекомым – 17%. В 2010 г. стекерные культуры, т. е. культуры с двумя и более трансгенными признаками, выращивали 11 стран, из них 8 – это развивающиеся страны. В целом по темпам внедрения коммерческих ГМ-культур развивающиеся страны превосходят индустриальные – 17%, или 10,2 млн га в развивающихся странах против 5%, или 3,8 млн га в индустриальных странах. Всего в 2010 г. развивающиеся страны выращивали 48% всех коммерческих ГМ-культур, и к 2015 г. они обойдут по площадям индустриальные страны. По прогнозам **International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA)**, в 2011–2015 гг. на мировом рынке должны появиться следующие ГМ-культуры: с 2011 г. страны Евросоюза начнут производство картофеля сорта **Amflora**, устойчивого к фитофторозу; в том же 2011 г. в Индии ожидают окончательного одобрения **Vt-баклажаны**, предназначенные для коммерческой реализации населению; в 2013 г. золотой рис появится на Филиппинах, а затем и в Бангладеш, Индии, Индонезии и Вьетнаме; к 2013–2014 гг. начнется производство ГМ-риса и обогащенной фитазой кукурузы в Китае; устой-

чивая к засухе кукуруза появится в США в 2012 г., а в тропической Африке – в 2017 г.; в 2015 и последующие годы начнется выращивание ГМ-культур с усиленным поглощением азота и ГМ-пшеницы (Clive, 2010).

На сегодняшний день более 75% населения Земли живет в странах, в которых ГМО разрешены либо для выращивания, либо для применения, либо для ввоза. Эти страны практически полностью охватывают центры происхождения культурных растений, установленные великим русским ученым Н.И. Вавиловым (рис. 1). Такое положение дел вызывает закономерное беспокойство у специалистов, занимающихся сохранением и поддержанием генетических ресурсов растений (ГРП) во всем мире, в том числе и в России, где во Всероссийском НИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова (ВИР) сохраняется уникальнейшая коллекция ГРП, насчитывающая более 322 тыс. образцов культурных растений и их диких родичей (www.vir.nw.ru).

Россия является одной из стран, в которых запрещено выращивание коммерческих ГМ-культур. Однако по данным Роспотребнадзора (Онищенко, 2008), в настоящее время в Российской Федерации прошли полный цикл всех необходимых исследований и разрешены для использования в питании 15 линий ГМО растительного происхождения, полученных с применением генно-инженерных технологий: 8 линий кукурузы, 3 линии сои, 2 сорта картофеля, 1 линия сахарной свеклы, 1 линия риса.

В 2005 г. наибольший удельный вес пищевых продуктов, содержащих компоненты ГМО, приходился на Северо-Западный (11,7%), Уральский (11,2%), Приволжский (8,4%), Центральный (8,2%) и Сибирский (8,0%) федеральные округа. Наибольшее количество исследований пищевых продуктов на ГМО в 2005 г. проведено в Центральном (5506), Приволжском (3579), Южном (2952) и Сибирском (2925) федеральных округах, наименьшее – в Уральском федеральном округе – 631. В 2007 г. наиболее часто пищевая продукция, произведенная из ГМО, встречалась при контроле птицепродуктов – 5% (2006 г. – 3,4%, 2005 г. – 6,1%), молочных продуктов – 3,7% (2006 г. – 0,4%, 2005 г. – 1,3%), мясопродуктов – 3,6% (2006 г. – 6,5%, 2005 г. – 14,4%), рыбных продуктов 2,7% (2006 г. – 2,1%, 2005 г. – 2,0%), а

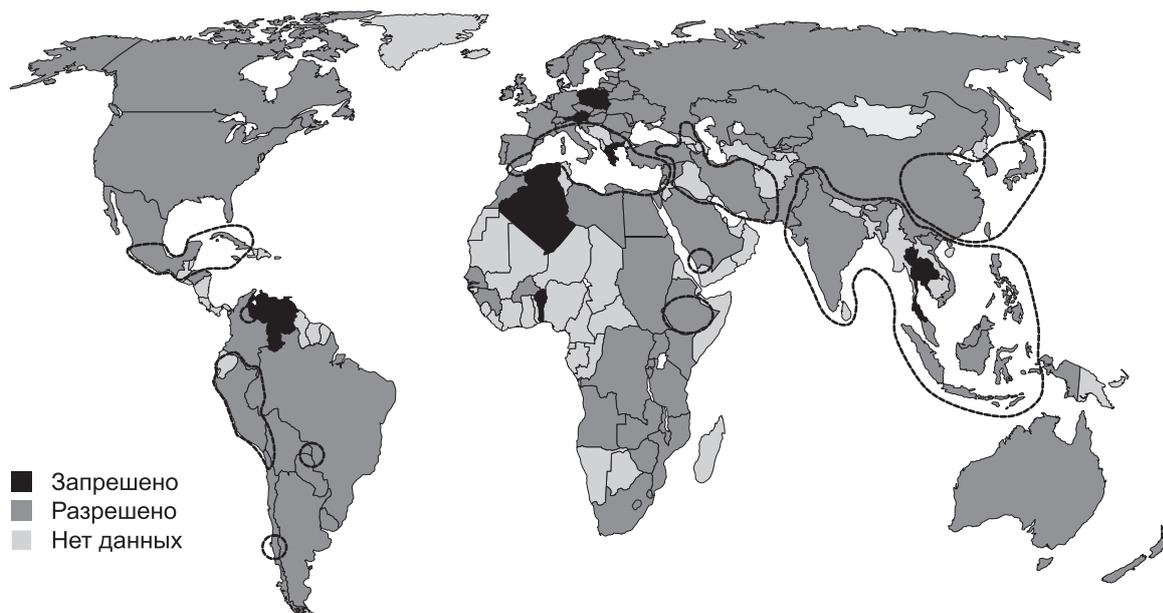


Рис. 1. Страны, в которых разрешено использование ГМ-продуктов, с указанием центров происхождения растений по Н.И. Вавилову (по http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4e/Gmo_accept_map.png с дополнениями).

также в группе «прочие продукты» (в основном в продуктах переработки сои) – 2,7% (2006 г. – 4,4%, 2005 г. – 8,2%). Во всех видах пищевых продуктов, в которых обнаружена рекомбинантная ДНК, компонентами, произведенными из ГМО, являются продукты переработки сои (95%), кукурузы (4,5%) или другого растительного сырья (0,5%) (Онищенко, 2008). Таким образом, по официальным данным, в период с 2005 по 2007 гг. произошло сокращение потребления ГМ-продукции населением РФ. Однако даже при сокращении потребления ГМ-товаров вероятные риски, связанные с возделыванием и реализацией ГМО населению, остаются.

В целом все потенциальные нежелательные явления и события, происходящие при возделывании и потреблении ГМО, можно объединить в три группы потенциальных рисков: пищевые, экологические и агротехнические (Кузнецов, Куликов, 2005). Существование пищевых рисков связано, прежде всего, с биологическими свойствами продуктов, обусловленными экспрессионной активностью трансгенов, а именно: непосредственным действием токсичных и аллергенных трансгенных белков ГМО; рисками, опосредованными плейотропным действием трансгенных белков на метаболизм растений; рисками, опосредованными накоп-

лением гербицидов и их метаболитов в устойчивых сортах и видах сельскохозяйственных растений; рисками горизонтального переноса трансгенных конструкций, в частности в геном симбиотных для человека и животных бактерий (*Escherichia coli*, *Lactobacillus (acidophilus, bifidus, bulgaricus, caucasicus)*, *Streptococcus thermophilus*, *Bifidobacterium* и др.).

Экологические риски ГМО обуславливают те ограничения и опасности, которые вытекают из законов генетической и экологической изменчивости живых организмов. Поэтому, оценивая роль генетической инженерии в селекции растений, особенно в плане преодоления барьеров несовместимости любого уровня, следует учитывать и ограничения, обусловленные следующими причинами: непредсказуемость глобального нарушения экологического равновесия естественных и антропогенных систем; опасность сокращения биологического и генетического разнообразия экосистем; эффект «пестицидного бумеранга»; монополизация биотехнологического бизнеса; опасность терминаторных и двойных технологий; экологическая опасность **Vt-защищенных** и других трансгенных растений. В этой связи, поскольку многие закономерности генетической инженерии неизвестны и мы не знаем, сколько

времени потребуются на их познание, было бы весьма опасно пренебрегать традиционными методами селекции, которые на сегодня кормят население Земли.

Пока полностью не ясны и потенциальные агротехнические риски распространения ГМО для живой природы и человека. Это, во-первых, угроза естественному (агро)биоразнообразию. Распространение ГМО может привести к сокращению видового разнообразия живых организмов, обитающих на полях, где они выращиваются, и вокруг них. Кроме того, быстрорастущие ГМ-организмы могут вытеснять обычные виды из естественных экосистем. Во-вторых, угроза разнообразию аборигенных пород и сортов. Распространение ГМО ведет к снижению разнообразия других сортов и пород. Это разнообразие – основа устойчивости сельского хозяйства. В-третьих, засорение традиционных сортов трансгенными формами. В результате неконтролируемого опыления нетрансгенных сортов могут происходить ухудшение свойств и потеря генетической чистоты традиционных сортов. И наконец, в-четвертых, истощение и нарушение естественного плодородия почв. ГМ-растения с генами, ускоряющими рост и развитие, в значительно большей степени, чем обычные, могут истощать почву и нарушать ее структуру; в результате подавления токсинами ГМ-растений жизнедеятельности почвенной микробиоты может происходить нарушение естественного плодородия (Кузнецов, Куликов, 2005).

Кроме того, широкомасштабное коммерческое использование ГМ-организмов сопровождается не только названными выше пищевыми, экологическими и агротехническими рисками, но и проблемами политико-экономического характера. Поскольку выделенный, клонированный и перенесенный в другой организм ген, а вместе с ним и весь ГМ-организм, с юридической точки зрения рассматривается как «изобретение» и/или «интеллектуальная собственность», то компании-производители ГМО имеют право на роялти (лицензионные платежи). Это неизбежно приводит к зависимости аграрного сельскохозяйственного производства от транснациональных биотехнологических корпораций и тем самым несет угрозу национальной продовольственной безопасности. В этой связи роль генетических ре-

сурсов растений, животных и микроорганизмов, их сохранения и воспроизводства возрастает многократно. Переоценить их значимость в условиях расширения и углубления глобального экологического кризиса очень трудно. Потеря (агро)биоразнообразия неизбежно приведет к практической реализации потенциальных пищевых, экологических и агротехнических рисков, и, как следствие, к ухудшению норм проживания человека, невозможности сохранения его здоровья на должном уровне и ухудшению благосостояния всего человечества.

Приведем некоторые примеры непреднамеренного, а порой и нелегального распространения ГМО в ряде регионов мира. В апреле 2005 г. в Китае в провинции Хубей, находящейся в непосредственной близости от центров биоразнообразия и происхождения дикого риса Китая, были обнаружены нелегитимные посадки ГМ-образцов этой культуры (Cheung *et al.*, 2006). В июне того же года было установлено загрязнение трансгенным рисом из провинции Хубей риса в Гунжоу, самом большом городе северного Китая. Трансгенный **Vt-рис** был получен учеными биотехнологической фирмы «New Technology Company» **Хуажонг Сельскохозяйственного университета** в городе Вухан, столице провинции Хубей. На протяжении 2003–2005 гг. они проводили широкомасштабные полевые испытания **Vt-риса**, что послужило причиной нелегального распространения ГМ-риса как в провинции Хубей, так и за ее пределами. Следует отметить, что в 2003–2004 гг. Китай экспортировал рис в следующие страны: Японию, Корею, Россию, Германию, Великобританию, Словакию, Польшу, Чехию, Бельгию, Италию, Францию, Нидерланды, Швецию, Финляндию, Австрию, Кот-де-Вуар, Либерию, Гонконг и Индонезию. Остается неизвестным, из каких провинций и куда поставлялся произведенный в Китае рис.

Японские ученые обнаружили, что ГМ-рапс был непреднамеренно выпущен в окружающую среду и свободно произрастает в портах Японии, через которые он был ввезен в эту страну из Канады (National Institute ..., 2005). Проведенные исследования выявили наличие ГМ-рапса в 8 из 10 проверенных портов (табл.). Более того, в отдельных случаях ГМ-растения рапса были обнаружены в радиусе 30 км от порта.

Таблица
Распространение ГМ-рапса в портах Японии
(по: Frid *et al.*, 2005)

Порт	Провинция (префектура)	Обнаружение ГМ-рапса
Чиба	Чиба	+
Хаката	Фукуока	+
Кашима	Ибараки	+
Кобэ	Хуого	+
Мизушима	Окаяма	–
Нагойя	Аичи	+
Шимизу	Шизуока	+
Йокаичи	Мие	+
Йокагама	Канагава	+
Уно	Окаяма	–

Япония не выращивает ГМ-рапс, но производит из него масло для пищевых целей и корма для животных. Собственное производство рапса в Японии ничтожно, и поэтому импорт семян этого растения очень велик (80% из Канады, 17% из Австралии и 3% из Франции). Завоз семян рапса производится в основном морским путем, что и явилось причиной генетического загрязнения ряда портов Японии и их окрестностей ГМ-рапсом. Причиной «выброса» ГМ-семян этой культуры в экосистему Японии явилась потеря семян при разгрузке в портах и последующей их транспортировке к месту хранения и переработки. Вследствие этого японские фермеры столкнулись с проблемой быстрого распространения дикорастущего ГМ-рапса, произрастающего во многих регионах Японии. Особое беспокойство вызывает возможность генетического загрязнения родственных и диких родичей рапса, многие из которых произрастают в Японии (Lefol *et al.*, 1995). И хотя в 2005 г. генетического загрязнения у родственных видов выявлено не было, проведенными исследованиями доказано, что как минимум два ГМ-сорта рапса самопроизвольно произрастают на территории Японии (Frid *et al.*, 2005).

В 2003 г. были проведены специальные анализы, в результате которых установлено, что от

30 до 50% обследованных семян и собранных листьев папайи на Гавайях были генетически загрязнены ГМО (Bondera, Query, 2006). В 2004 г. были осуществлены дополнительные исследования с целью установления, насколько сильно генетически загрязнены трансгенами посадки не ГМ-папайи в этом штате США. Для этого на трех островах Гавай (Гавайи, Оаху и Кауаи) с обычных, не ГМ-растений папайи, произрастающих на сельскохозяйственных фермах, производящих папайю на продажу, в садах возле жилых домов и с одичавших деревьев, растущих вдоль дорог, было собрано около 10 тыс. семян, которые методом ПЦР были проанализированы на наличие в них трансгена. Кроме того, дополнительно были собраны листья и семена с деревьев в экологически чистых фермах на островах Гавайи и Кауаи, а также образцы генетически не модифицированных сортов папайи, распространяемых Университетом Гавай. Проведенный анализ собранного материала выявил массивное генетическое загрязнение семян папайи, собранных на острове Гавайи (до 50%), существенное загрязнение на Оаху (немного меньше 5%) и очень незначительное на Кауаи (< 0,01%). Все проверенные сельскохозяйственные фермы не имели непреднамеренных посадок ГМ-растений папайи, но плоды папайи, выращенные на этих фермах, содержали генетически модифицированные семена (< 5% на острове Гавайи и 0,01% на Кауаи). Загрязнение произошло за счет переопыления пыльцой трансгенных растений. Наибольшее беспокойство вызывает генетическое загрязнение запасов традиционной не ГМ-папайи Гавайского университета (от 0,01 до 0,1%), крупнейшего поставщика семян этой культуры в США и за их пределы.

В 2006 г. тесты образцов генетических ресурсов папайи, сохраняемых в хранилищах Гавайского университета, на наличие в них ГМО были повторены. В результате было обнаружено, что образцы в запасниках по-прежнему загрязнены в той же пропорции. Такие данные могли быть получены только вследствие генетического загрязнения семян пыльцой, переносимой ветром, насекомыми, птицами, животными или человеком. При этом мякоть плодов остается генетически не модифицированной, а часть семян модифицируются. Загрязнение семян может происходить за счет непреднамеренного

ГМО загрязнения образцов ГР традиционных не ГМ-семян, находящихся в хранилищах ГР папайи, что, в свою очередь, ведет к появлению непреднамеренному появлению ГМ-растений с генетически модифицированными листьями, мякотью плодов и как минимум 3/4 семян.

Генетическое загрязнение обычной папайи ГМО стало возможным в результате неконтролируемого и непродуманного выращивания ГМ-папайи вблизи посадок традиционной папайи, а также проведение полевых испытаний ГМ-папайи в окружении обычных немодифицированных растений этой культуры. А если учесть, что традиционно на Гавайях посадки папайи осуществляют на больших площадях, деревья сажают близко друг от друга, производя монокультурные насаждения одного сорта, то результат такого совместного выращивания был предсказуем.

Другим примером распространения ГМО может служить выращивание трансгенной сливы в Румынии. Весной 1996 г. на помологической экспериментальной станции вблизи города Быстрица, расположенной в предгорьях Карпат недалеко от границы с Украиной, было высажено 100 трансгенных растений сливы. Спустя 10 лет трансгенные растения оказались окруженными производственными посадками сельхозугодий, производящих сливу на продажу, и научными образцами деревьев сливы. Никаких буферных зон создано не было. Трансгенные растения были лишь помечены буквой «Т» белой краской на стволах деревьев (рис. 2).

По мнению специалистов, распространение трансгенов пыльцой может достигать 600 км (Meunier *et al.*, 2006). С учетом того что Румыния является третьим в мире производителем сливы и располагается в районе, протянувшемся от Венгрии до Грузии, где происходило одомашнивание этого вида растений, а также месте, где постоянно происходит генетический обмен между самопроизвольными популяциями *Prunus* и обычной культивируемой сливой (*Prunus domestica*), что является основой создания адаптивного потенциала генетических ресурсов культивируемых видов, можно ожидать, что генетическое загрязнение этой культуры ГМО приобретет массовую форму. Кроме того, Румыния с 1999 г. выращивает ГМ-сою и является одним из трех крупнейших производителей

ГМ-сои в Европе. Как следует из официальных источников, к ноябрю 2004 г. в Румынии от 75 до 100 % этой культуры оказались генетически модифицированными или генетически загрязненными ГМО. Однако в том же 2004 г. Комиссия по биобезопасности Румынии дала согласие на создание и выращивание трансгенной пшеницы. Более того, в том же году в Университете города Тимишоара при финансовой поддержке Мирового банка планировалась реализация научного проекта по переносу **Vt-гена, полученного от компании Monsanto, в один из местных сортов картофеля.** Насколько успешными оказались эти проекты, а главное, насколько генетически безопасными для генетических ресурсов Румынии и прилежащих стран – остается неизвестным (Meunier *et al.*, 2006).

В России для изучения факторов, влияющих на частоту свободного переопыления в естественных условиях Дальнего Востока, в 2004 г. были сформированы смешанные посеы культурной сои сортов Венера (не ГМ-сорт) и Stine 2254RR (раундап-устойчивый). Смешанные посеы и полученные в результате естественного переопыления гербицидоустойчивые гибриды изучали на протяжении трех лет (Тихонов и



Рис. 2. Дерево трансгенной сливы, выращиваемой на помологической экспериментальной станции в Быстрице в Румынии (по: Meunier *et al.*, 2006).

др., 2010). В результате проведенных исследований авторами было установлено, что в 2005 г. количество гербицидоустойчивых растений оказалось 0,2%, в 2006 г. их уже было 22,9%, в 2007 г. количество трансгенных растений возросло до 95,2%, а в 2008 г. – до 98,0%. Таким образом, как следует из проведенных исследований, насыщение агроценоза традиционной сои гербицидоустойчивой произошло всего за три года отбора на устойчивость к гербициду. В другом эксперименте по изучению элиминации вставки в отсутствие обработки гербицидом в поколениях сои, полученной при гибридизации традиционной и ГМ-сои, этими же авторами было установлено, что в отсутствие обработки селективным гербицидом процент погибших растений в 2007 г. составил 0,9%, в 2008 г. – 4,1% и в 2009 г. – 13,7% соответственно (Тихонов и др., 2010). На основании полученных данных авторы прогнозируют ситуацию, при которой прекращение применения гербицида раундап приведет к возможной элиминации вставки из агроценоза только через 6–7 лет.

В работе В.И. Киль, (2010) в условиях Краснодарского края проводилось изучение возможности генетического загрязнения ГМ-пыльцой посевов обычной кукурузы. Полученные результаты ясно демонстрируют возможность переноса трансгенной пыльцы ветром на расстояние до 200 м в отсутствие каких-либо препятствий и заграждений, что еще раз подтверждает тезис об уязвимости генетических ресурсов растений в период их полевой репродукции.

Таким образом, генетическое загрязнение образцов генетических ресурсов растений, сохраняемых в генных банках различных стран, может быть обусловлено рядом широко распространенных случаев: перекрестным опылением растений на соседних полях; присутствием ГМ-особей среди обычных растений, выращиваемых на поле, где ранее выращивали ГМ-растения; опылением «одичавшими» ГМ-растениями, произрастающими на окраинах полей и являющимися результатом небрежной транспортировки и/или сбора ГМ-растений, а также ГМ-примесным загрязнением через семенные лотки при обработке семян до посева или после сбора урожая. Нельзя сбрасывать со счетов и возможность поглощения экзогенной ДНК естественного или генно-инженерного

происхождения, присутствующей в свободном или ином виде в окружающей среде, в том числе в производственных и лабораторных помещениях генных банков. В целом, исходя из вышеизложенного, можно выделить три основных фактора непреднамеренного генетического загрязнения ГМО генных банков ГРР: 1) сбор; 2) воспроизводство и 3) обмен образцами между генными банками. Четвертым фактором можно считать преднамеренное загрязнение образцов коллекций генных банков ГРР, что фактически можно приравнять к разновидности биотерроризма – генетическому терроризму.

Каково же положение дел с генетическим загрязнением ГМО генных банков мира на сегодня? В 2003 г. Университет Калифорнии отозвал 30 образцов семян томата, которые он рассылал в течение предыдущих 7 лет в научные коллегии США и в другие страны. Проведение тестов показало, что разосланные семена не являются запрашиваемыми образцами, а представляют собой схожую биотехнологическую разновидность. При работе с этими семенами научный персонал в их геноме неожиданно обнаружил присутствие широко используемого маркерного гена NPT II и проинформировал об этом центр Рика (Rick Center) генного банка США. Удалось установить, что семена, несущие ГМ-признак, берут свое начало от 20 г семян ГМ-образца, подаренного Университету Калифорнии в 1996 г. компанией Petoseed Company, впоследствии приобретенной Seminis Vegetable Seeds. До сих пор не ясно, где и когда произошло загрязнение (Koppenjan *et al.*, 2003).

Известны как минимум два случая загрязнения образцов генного банка Чили. В 2000 г. семена образцов обычной сои, выращенной в Чили, но полученной из США, были загрязнены **Roundup Ready соей фирмы Monsanto**. Загрязнение произошло в Университете Северной Каролины при реализации **Foundation Seedstocks Programm – программы по обмену образцами между генными банками**. В 2005 г. было обнаружено, что образцы обычной кукурузы загрязнены трансгенными образцами NK603 и MON810. Где и когда произошло загрязнение – также неизвестно (Maria Isabel Mansur. Персон. сообщение).

В 2007 г. в прессе появилось сообщение, что ГМ-пшеница выращивается в непосредствен-

ной близости (в 500 м) от здания генного банка семян Германии. В своем интервью профессор А. Гранер, директор Института генетики растений и исследования возделываемых культур (г. Гатерслебен, Германия), в состав которого входит генный банк ФРГ, опроверг возможность загрязнения образцов генного банка трансгенными семенами (Graner, 2007). Несмотря на предпринятые попытки, каких-либо данных, подтверждающих утверждение о возможном генетическом загрязнении образцов генного банка Германии ГМО, получено не было и не представлено до сих пор.

Таким образом, на сегодня известно четыре случая непреднамеренного присутствия ГМО в образцах некоторых генных банков. Каково положение в остальных генных банках – остается неизвестным. Руководствуясь принципами сбора, сохранения и поддержания образцов коллекций ГТР, можно предположить, что ситуация находится под контролем. Однако, несмотря на принимаемые усилия, потенциальный риск загрязнения остается, поскольку исключить человеческий фактор из процесса сбора, обработки и хранения ГМ- и не ГМ-образцов невозможно. Каков же возможный сценарий дальнейшего развития событий в случае непреднамеренного появления ГМО в образцах генных банков?

Поскольку подавляющее большинство образцов коллекций ГТР является популяциями, то закономерно возникает вопрос, как поведет себя популяция под действием стабилизирующего отбора в соответствующей (агро)экосистеме, если в исходной популяции каким-либо образом появится ГМО? И как будет действовать стабилизирующий отбор на вновь возникшую ГМО-популяцию? Стабилизирующая форма естественного отбора, как известно, создает коадаптированные генные комплексы и «охраняет» вид путем устранения генотипов, обуславливающих развитие признаков, которые отклоняются от пределов, допустимых для данного вида в данных условиях среды (Шмальгаузен, 1938, 1982; Жученко, 1980, 1988, 2001, 2004). Если встроенный ген дестабилизирует эволюционно возникшие комплексы генов и признаков, то вопрос о выживаемости ГМО-популяции остается открытым. Так, например, даже если под действием стабилизирующего отбора ГМО-популяция не будет обладать перспективой

выживания, то появление генетически модифицированных особей может оказаться губительным и для исходной не ГМО-популяции. Возможно ли такое? Это зависит от того, насколько уменьшится приспособленность ГМО-популяции по сравнению с приспособленностью исходной популяции под действием стабилизирующего отбора (Животовский, 2004). Проведенный анализ показывает (Животовский, 1998, 2004; Muir, Howard, 1999), что стабилизирующий отбор может создать ситуацию, когда чужеродный ген будет играть роль своеобразного «тройного коня»: трансгенные особи могут вытеснить особей дикого фенотипа, но сама ГМО-популяция попадет под пресс стабилизирующего отбора из-за выщепления фенотипических отклонений и, не успев адаптироваться, исчезнет, приводя, в свою очередь, к динамическим изменениям в соответствующей экосистеме.

Таким образом, действие встроенного чужеродного гена, скорее всего, разбалансирует, а не «гармонизирует» геном и генотипическую структуру популяции, которая до того длительное время эволюционировала в определенных условиях внешней среды. Это должно привести к изменению средних значений и/или увеличению фенотипической изменчивости в этой популяции по комплексам адаптивных признаков. При наличии стабилизирующего отбора по таким признакам (а то, что он всегда присутствует, показано многочисленными исследованиями (Шмальгаузен, 1938, 1982; Дубинин, 1948; Lerner, 1954; Dobzhansky, 1970) ожидается уменьшение приспособленности ГМО-популяции по сравнению с популяцией «дикого» фенотипа, поскольку ее фенотипическое разнообразие выходит за пределы нормы отбора. Кроме того, даже если действие чужеродного гена не изменяет среднепопуляционных значений признаков, а лишь обуславливает увеличение фенотипической изменчивости, то это также может резко снизить приспособленность ГМО-популяции и привести к ее быстрой элиминации из экосистемы. При этом, чем большее число признаков претерпевают изменения под действием встроенного гена, тем сильнее становится элиминирующее давление стабилизирующего отбора (Животовский, 1998, 2004). В то же время, при экстраполяции экспериментальных данных на природные ситуации следует иметь в виду, что

лабораторные условия (и соответствующие им оценки приспособленности) могут совсем не отвечать факторам отбора в естественной среде (Braig, Yan, 2002; Животовский, 2004).

13 июля 2010 г. Европейской комиссией были приняты рекомендации для разработки руководств по развитию совместных национальных мер по предотвращению непреднамеренного присутствия ГМО в традиционных и экологически чистых возделываемых культурах. Основная цель и задачи этих нормативных документов – дать не имеющие обязательной силы рекомендации странам-членам Европейского Союза. Они предназначены обозначить общие принципы по развитию национальных мер по предотвращению непреднамеренного присутствия ГМО в традиционных и экологически чистых возделываемых культурах. Эти правила признают, что многие факторы, важные в контексте рассматриваемой проблемы, являются специфичными для национальных, региональных и местных условий. Выработка подобных правил в России позволила бы поставить еще один заслон по предотвращению возможности потенциального генетического загрязнения не только образцов коллекций ГРР, но и сортов и разновидностей возделываемых видов растений.

Таким образом, можно заключить, что в связи с увеличивающимся распространением и использованием ГМ-организмов на планете пищевые, экологические и агротехнические риски становятся все более очерченными. Исходя из этого, в интересах экологической и агротехнической безопасности необходима скорейшая разработка и принятие мер по снижению риска от неконтролируемого распространения ГМО и непреднамеренного загрязнения образцов генных банков, прежде всего, на основе изучения и устойчивого использования агробиоразнообразия, сохраняемого в генных банках. Для этого необходимо и достаточно поддерживать в генных банках в генетически чистом виде образцы культивируемых видов и их диких родичей, а также проводить постоянный мониторинг на наличие в образцах ГМО и трансгенов, предотвращая их непреднамеренное появление в коллекциях ГРР. В этой связи особенно актуальными становятся вопросы проведения мониторинга и контроля образцов мировых генетических коллекций с целью предотвращения возможности их генети-

ческого загрязнения ГМ-культурами и трансгенами, а также предупреждения бесконтрольного привлечения в коллекции ГРР ГМ-образцов путем выписки, обмена или непосредственного их сбора во время экспедиций.

Литература

- Дубинин Н.П. Экспериментальное исследование интеграции наследственных систем в процессах эволюции популяций // Журн. общ. биологии. 1948. Т. 9. № 3. С. 203–244.
- Животовский Л.А. Приспособленность и популяционный стресс // Жизнь популяций в гетерогенной среде / Ред. Л.А. Жукова и др. Йошкар-Ола: Периодика, 1998. Ч. 2. С. 126–140.
- Животовский Л.А. Стабилизирующий отбор и приспособленность популяций ГМО // ГМО – скрытая угроза России / Ред. И.В. Стариков. Матер. к докл. Президенту РФ «По анализу эффективности государственного контроля за оборотом генетически модифицированных продуктов питания» (п. 3 «и») Протокола № 4 совместного заседания Совета Безопасности и Президиума Госсовета РФ от 13.11.2003). М., 2004. С. 94–105.
- Жученко А.А. Экологическая генетика культурных растений (адаптация, рекомбиногенез, агробиоценоз). Кишинев: Штиинца, 1980. 588 с.
- Жученко А.А. Адаптивный потенциал культурных растений (эколого-генетические основы). Кишинев: Штиинца, 1988. 768 с.
- Жученко А.А. Адаптивная система селекции растений (эколого-генетические основы). М.: Агрорус, 2001. В 2 т. 1496 с.
- Жученко А.А. Экологическая генетика и проблемы агросферы (теория и практика). М.: Агрорус, 2004. В 2 т. 1156 с.
- Картахенский Протокол по биобезопасности к Конвенции о биологическом разнообразии (КПКБР). 2000 г. 29 с.
- Киль В.И. Теоретическое обоснование и практическое использование молекулярно-генетических методов в защите сельскохозяйственных растений от вредителей и оценке трансгенных растений на биобезопасность: Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. Краснодар: ФГОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет», 2010. 46 с.
- Конвенция о биологическом разнообразии (КБР) // *Unites Nations – Treaty Series*. 1993. V. 1760. I-30619. P. 199–225.
- Кузнецов В.В., Куликов А.М. Генетически модифицированные организмы и полученные из них продукты: реальные и потенциальные риски // Рос. хим. журнал (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). 2005. Т. 49. № 4. С. 70–83.

- Онищенко Г.Г. «О совершенствовании надзора за пищевыми продуктами, содержащими ГМО и ГММ». Письмо Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 20 августа 2008 г. № 01/9044-8-32.
- Тихонов А.В., Мороховец В.Н., Яковец В.П. и др. Изучение безопасности и возможности сосуществования ГМ и традиционной сои в естественных условиях юга Дальнего Востока РФ // Матер. X Молодежн. науч. конф. «Биотехнология в растениеводстве, животноводстве и ветеринарии». М., 2010. С. 45–47.
- Шмальгаузен И.И. Организм как целое в индивидуальном и историческом развитии // Организм как целое в индивидуальном и историческом развитии. М.: Наука, 1938. С. 12–228.
- Шмальгаузен И.И. Стабилизирующий отбор и эволюция индивидуального развития // Организм как целое в индивидуальном и историческом развитии. М.: Наука, 1982. С. 351–372.
- Bondera M., Query M. Hawaii papaya: GMO contaminated // Hawaii Seed. 2006. 19 p. www.gmofreehawaii.org
- Braig H.R., Yan G. The spread of genetic constructs in natural insect populations / Eds D.K. Letourneau, B.E. Burrows. *Genetically Engineered Organisms: Assessing Environmental and Human Health Effects*. CRC Press, L.; N.Y., 2002. P. 251–314.
- Cheung S.P., Cotter J., Truchi N. Genetically engineered rice: illegal and unwanted in China // Greenpeace. 2006. www.greenpeace.org/hk
- Clive J. Global status of commercialized Biotech/GM crops: 2010. ISAAA Brief No. 42. ISAAA: Ithaca, N.Y., 2010. 30 p.
- Dobzhansky Th. *Genetics of the Evolutionary Process*. N.Y., Columbia Univ. Press. 1970. 505 p.
- Frid A., Keenan L., Kiers E.T. Genetically engineered canola contamination confirmed across Japan – Canadian GE canola the culprit // Greenpeace. *Canola Contamination in Japan: Report*. 2005. www.greenpeace.org
- Graner A. We have 60 years' experience of propagating wheat seed. Interview to GMO Safety. 2007. <http://www.gmo-safety.eu/en/news/559.docu.html>
- Koppenjan G., Bailey P., Lapin L. Tomato seed from seed bank found to be genetically modified // UC Davis News Service. 2003. http://www.news.ucdavis.edu/search/news_detail.lasso?id=6833
- Lefol E., Danielou V., Darmency H. *et al.* Gene dispersal from transgenic crops. I. Growth of interspecific hybrids between oilseed rape and the wild hoary mustard // *J. Appl. Ecol.* 1995. V. 32. P. 803–808.
- Lerner I.M. *Genetic Homeostasis*. N.Y., John Willey, 1954. 134 p.
- Meunier E., de la Perriere R.A.B., Craioveanu D., Dumnicioiu R. Transgenic plum tree tribulations in Romania // *Inf°OGM*. 2006. 73: 1–4. www.infogm.org
- Muir W.M., Howard R.D. Possible ecological risks of transgenic organism release when transgenes affect mating success: Sexual selection and Trojan gene hypothesis // *Proc. Natl Acad. Sci. USA*. 1999. V. 96. P. 13853–13856.
- National Institute for Environmental Studies (NIES): A monitoring survey concerning the environmental impact caused by Genetically Engineered living organisms (canola). 2005. http://www.bch.biodic.go.jp/download/natane/rapeseed_report16.pdf
- Scientists' Working Group on Biosafety (SWGGB). *Manual for Assessing Ecological and Human Health Effects of Genetically Engineered Organisms*. The Edmonds Institute. Edmonds. WA. 1998. www.edmonds-institute.org/manual.html

GENETICALLY MODIFIED ORGANISMS AND GENETIC POOLS OF PLANTS: ENVIRONMENTAL AND AGRICULTURAL SAFETY

Yu.V. Chesnokov

Vavilov Research Institute of Plant Industry, St. Petersburg, Russia, e-mail: yu.chesnokov@vir.nw.ru

Summary

Ecological and agricultural safety is considered in the context of the dissemination of genetically modified organisms (GMOs). The probability of involuntary pollution of gene bank accessions with GMOs is discussed. It is demonstrated by the example of GMO distribution in various regions of the world that the large-scale commercial use of GMOs is associated with ecological and agricultural risks.

Key words: genetically modified organisms, accessions of plant genetic resources, ecological and agricultural safety.